

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a

Informatiky

Katedra elektroenergetiky

Údržba transformátorů, měření na transformátorech

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Nebeský**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907T001 Elektroenergetika**
Téma: **Údržba transformátorů, měření na transformátorech.**
Údržba transformátorů, měření na transformátorech.

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor
2. Diagnostika transformátorů
3. Údržba transformátorů
4. Praktická aplikace diagnostických metod
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Bernat, P., Mišák, S.: Diagnostika asynchronního stroje. In Sborník konference EPE 2011. Ed. Stanislav Rusek, Radomír Goňo, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, 179-182, ISBN 978-80-248-2393-5
[2] Kreidl, M.: Diagnostické systémy, Praha, 2001, ČVUT, ISBN 80-01-02349-4
[3] Zális, K.: Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů, Praha 2005, Academia, ISBN 80-200-1358-X

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Zvláštní poděkování patří pracovníkům oddělení elektro OPM na DNT a vedoucímu oddělení p. Ing. Vlastimilovi Krausovi za odbornou a technickou pomoc a dále pracovníkům trafostanic na DNT TR II v Tušimicích, TR III v Málkově a TR IV v Březně a také elektromechanikům provozních úseků skrývky na DNT.

V Kadani 16.4.2012

Bc Jiří Nebeský.....

Abstrakt

Tato Diplomová práce se zabývá údržbou transformátorů provozovaných v Lokální distribuční síti (LDS) elektrické energie v podniku Doly Nástup Tušimice (DNT), které vlastní akciová společnost Severočeské doly a. s. (SD a.s.) a patří do skupiny ČEZ. Společnost se zabývá povrchovým dobýváním hnědého uhlí a s tím spojené skrývky zeminy, pomocí Technologických celků (TC), které se skládají z těžebních rýpadel, zakládacích velkostrojů, pasových dopravníků a dalších technologií spojených s těžební činností. Pro napájení všech těchto strojů a zařízení, pracujících na napětových hladinách od VVN až po NN, se používá velké množství různých typů transformátorů. Vzhledem ke skutečnosti, že povrchové doly se vyznačují specifickými podmínkami, velké prašnosti, vlivy povětrnostních podmínek, je nutné preventivní, pravidelné údržbě elektrického zařízení věnovat mimořádnou pozornost. I v této oblasti je třeba dodržet jak návody od výrobců, tak místní technologické postupy a nařízení, a to včetně různých měření na transformátorech v rámci údržby v provozním stavu transformátorů, a také při větších odstávkách celých technologických celků a možnosti mít transformátory, alespoň na nejnutnější možnou dobu, bez napětí a zajištěné. Proto se tato Diplomová práce bude zabývat možným měřením, v rámci údržby, na transformátorech v provozních podmínkách povrchového dolu.

Abstract

This thesis studies the maintenance of transformers operating in the Local distribution network (LDS) of electricity in the company Doly Nástup Tušimice (DNT), which is owned by Severočeské doly a. s. (SD a. s.) and belongs to ČEZ. The company is engaged in surface mining of lignite and overburden, using Technological complexes (TC), which consists of mining excavators, belt conveyors and other technologies related to mining activities. To power all these machines and equipments, working at voltage levels from high voltage to low voltage, is used a large number of different types of transformers. Due to the fact that specific conditions (such as dust or weather conditions) are characteristic for surface mines, it is necessary to pay special attention to preventive and regular maintenance of electrical equipment working in this environment. It is imperative to follow the manufacturer's instructions and conventional procedures and regulations, including various measurements on transformers in the maintenance in the operational condition of transformers and also during larger shutdowns of technological systems. There is also needed a possibility to have transformers, at least for the minimum possible time, without voltage and secured. Therefore, this thesis will investigate the feasible maintenance performance measurements on the transformers in the operating conditions of the surface mine.

Klíčová slova

Lokální distribuční síť, měření, transformátor, údržba, degradace, diagnostika, elektrizační soustava, izolační systém, transformátorový olej

Key Words

Local distribution network, measurement, transformer, servicing degradation, diagnostics, power

transmission system, insulating system, transformer oil

Seznam použitých symbolů a zkratek

S1,2,3	Skrývka prvního, druhého, třetího řezu
LDS	Lokální distribuční soustava
DNT	Doly Nástup Tušimice
SD	Severočeské doly
TC	Technologický celek
TR	Trafostanice
TSN	Venkovní přesuvná stanice
VSS	Výkonová spínací stanice
DT	Distribuční trafostanice
TSB	Transformátorová stanice (6/0,4 kV nebo 6/0,5 kV)
KV	Kabelový vůz
NPD	Norma povrchových dolů
SPD	Standard povrchových dolů
NN [V]	Nízké napětí
VVN [V]	Velmi vysoké napětí
VN [V]	Vysoké napětí
$E_p[V.m^{-1}]$	Elektrická pevnost
F [Hz]	Jmenovitý kmitočet
Q [C]	Elektrický náboj
$R_{iz} [M\Omega]$	Izolační odpor
$C_{50} [F]$	Kapacita měřená při frekvenci 50 Hz
$tg\delta [-]$	Ztrátový činitel
$u_k [\%]$	Napětí nakrátko
$\tau [s]$	Časová konstanta

Obsah

Úvod.....	9
1. Teoretický rozbor	10
1.1 Princip.....	10
1.1.1 Princip činnosti transformátoru	10
1.1.2 Magnetický obvod transformátoru – jádro	10
1.1.3 Vinutí transformátoru	11
1.1.4 Možnosti řízení napětí u transformátoru	13
1.1.5 Chlazení transformátoru	13
1.1.6 Základní rozdělení transformátorů	14
1.2 Nejčastěji používané druhy energií a transformátorů v LDS na DNT	14
1.2.1 Druhy dodávané elektrické energie z LDS na DNT	14
1.2.2 Sítě IT	15
1.2.3 Napájení v LDS venkovním vedením 35 kV	16
1.2.4 Napájení v LDS kabelovým vedením 35 kV	16
1.2.5 Napájení v LDS napětím 6 kV – kabelová vedení	16
1.2.6 Napájení v LDS napětím 0,4 kV	17
1.2.7 Nejčastěji používané transformátoru	17
1.3 Důležité štítkové informace na transformátorech.....	20
1.4 Měření na transformátorech.....	21
1.4.1 Měření činného odporu vinutí transformátoru.....	21
1.4.2 Měření izolačního odporu, určení polarizačního indexu a časové konstanty transformátoru	22
1.4.3 Kontrola sledu fází 3fázového transformátoru	23
1.4.4 Určení hodinového úhlu	24
1.4.5 Měření na transformátoru naprázdno	26
1.4.6 Měření transformátoru nakrátko.....	27
1.4.7 Měření ztrátového činitele tgδ a kapacity vinutí	28

2. Diagnostika transformátorů.....	30
2.1 Diagnostika olejových transformátorů	30
2.2 Diagnostika suchých transformátorů	35
3. Údržba transformátorů	37
3.1 Údržba olejových transformátorů velkých rozvodn	37
3.1.1 Údržba provozní.....	37
3.1.2 Údržba při odstávce.....	38
3.2 Údržba transformátorů na velkostrojích	39
3.2.1 Údržba provozní.....	39
3.2.2 Údržba při odstávce.....	40
4. Praktická aplikace diagnostických metod	43
4.1 Měření transformátoru 8ERH33M (110/35/6,3 kV, 40MVA) na rozvodně v LDS Dolu Nástup Tušimice.	50
4.1.1 Měření izolační soustavy před revizí a opravou transformátoru	50
4.1.2 Měření izolační soustavy po revizi a opravě transformátoru	50
4.1.3 Měření odporu vinutí ss. proudem před revizí a opravou transformátoru.....	52
4.1.4 Měření odporu vinutí ss. proudem po revizi a opravě transformátoru	53
4.1.5 Průchodky – měření izolačního stavu nových průchodek.....	54
4.2 Rozbor izolačního oleje v laboratoři	54
4.2.1 Rozbor izolačního oleje před opravou.....	54
4.2.2 Rozbor izolačního oleje po opravě.....	54
4.2.3 Plynově-chromatografická analýza plynů rozpuštěných v oleji.....	56
5. Závěr.....	62
Literatura	64
Příloha - obrazová část	65
Obr. 1. Schéma LDS na DNT – část č. 1.....	65
Obr. 3. Schéma LDS na DNT – část č. 3.....	67
Obr. 4. Schéma LDS na DNT – část č.4.....	68
Obr. 5. Schéma LDS na DNT – část č.5.....	69

Obr. 7 Schéma zapojení transformátoru pro napájení spodní stavby 6/04, kV, 1600 kVA	70
Obr. 8 Schéma zapojení transformátoru pro napájení horní stavby 6/04, kV, 2500 kVA.....	71
Obr. 9 Schéma zapojení transformátorů 6/2,1 kV, 2000 kV.A pro napájení 6 kV FM pro pohon kola 2x 1 MW	71

Úvod

Cílem této práce, je vytvořit písemný materiál, který vyhodnotí současné systémy kontrol a údržby transformátorů používaných v lokální distribuční soustavě, kterou provozují Severočeské doly a.s. v lokalitě Doly Nástup Tušimice (pozn. SD a.s. provozují ještě další LDS v lokalitě Doly Bílina) a navrhne možná zlepšení. V LDS na DNT je v současné době více než 250 odběrných míst elektrické energie na napěťových úrovních 35/6/0,4 kV. Některá odběrná místa jsou stálá (pevná), jiná jsou přesuvná a přesouvají se podle potřeby těžby skrývkových a uhelných Technologických celků. V tomto jsou LDS v těžebních prostorech dolů specifické a samozřejmě to přináší i zvýšené nároky na systém údržby elektrického zařízení včetně transformátorů.

První kapitola této práce *Teoretický rozbor* je zaměřena na vysvětlení principu a základních výpočtů u transformátorů, jeho různých typů a základního rozdělení.

Druhá kapitola, *Diagnostika transformátorů*, je zaměřena na problematiku olejových transformátorů, u kterých je potřeba, kromě diagnostiky elektrických veličin, další diagnostika transformátorového oleje.

Třetí kapitola *Údržba transformátorů* se zabývá dodržováním návodů od výrobců, místními technologickými postupy a dalšími nařízeními, které jsou zaměřeny na specifické podmínky těžby v povrchových dolech.

Čtvrtá kapitola *Praktická aplikace diagnostických metod* se zabývá možnostmi měření a získáváním informací z transformátorů a prostorů, ve kterých jsou umístěné, v případě normálního provozu, a dále pak v případě odstavení neboli stavu bez napětí. Součástí této kapitoly je *revize, oprava a měření transformátoru 8ERH33M (110/35/6,3 kV, 40MVA) na rozvodně Málkov v LDS Dolu Nástup Tušimice*, včetně některých protokolů.

Pátou kapitolou je „*Závěr*“. V této kapitole je vzhledem k počtu všech transformátorů v podniku, shrnutí postupů prováděné údržby a kontroly transformátorů v prostoru povrchového dolu. Je zde návrh, doporučení zkvalitnění, těchto postupů.

1. Teoretický rozbor

1.1 Princip

1.1.1 Princip činnosti transformátoru

Transformátor je netočivý elektrický stroj, umožňující změnu, neboli transformaci, střídavého elektrického napětí při konstantním kmitočtu a pracuje na principu elektromagnetické indukce, časovou změnou magnetického toku. Přenos elektrické energie transformátorem je možný v obou směrech, avšak většinou je transformátor používán v jednom směru energie. Z tohoto hlediska lze rozdělit transformátory na:

a) zvyšovací

b) snižovací

c) s přenosem energie v obou směrech.

Do první skupiny jsou zařazené elektrárenské transformátory dvouvinutové nebo s více vstupními vinutími, které jsou napájeny z různých generátorů. Tyto transformátory se vyznačují se velkým výkonem (stovky MV·A) a velkým výstupním napětím (stovky kV·A).

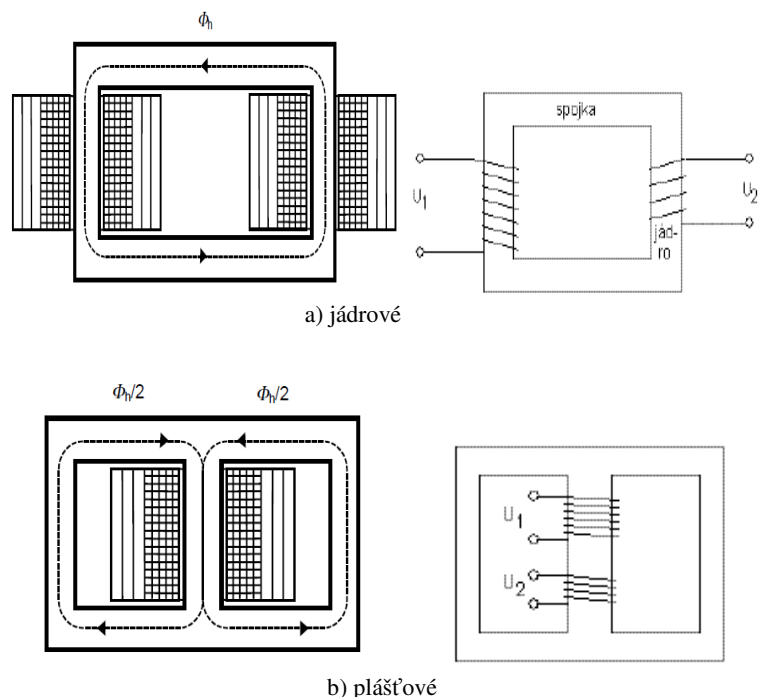
Do druhé skupiny patří tzv. síťové transformátory s výkonem desítek až stovek MV·A, které snižují velmi vysoké napětí hlavní přenosové sítě (220 kV, 400 kV, 800kV) na vysoké napětí (22 kV, 35 kV), a dále jsou to také transformátory distribuční s výkonem desítek až stovek kV·A, které tvoří skupinu s největším počtem energetických transformátorů, sloužících ke snížení vysokého napětí na nízké 0,525 kV; 0,4 kV a 0,231 kV.

Ve třetí skupině jsou to tzv. spojovací transformátory umožňující spojení dvou nezávislých sítí (například. 400 kV a 220 kV), tento postup slouží k hospodárnému využití výkonu z jedné soustavy v druhé a naopak.

Zvláštní požadavky některých specifických provozů vyžadují zvláštní transformátory. Do této skupiny bychom mohli zařadit transformátory pecové, zkušební a svařovací.[11]

1.1.2 Magnetický obvod transformátoru – jádro

Magnetický tok se uzavírá obvodem, který je složen z magnetických ocelových plechů, obvykle pro $f = 50 \text{ Hz}$ mají plechy tloušťku 0,5 a 0,35 mm. Tyto ocelové plechy obsahují do 4,5% křemíku a tato tzv. křemíková ocel bývá nejvíce používaným magneticky měkkým materiálem při výrobě elektrických strojů (křemík Si, slitiny křemíku a železa, oceli se vyznačuje vysokou tvrdostí a chemickou odolností). Obsah křemíku v oceli zmenšuje měrné ztráty, zvětšuje měrný odpor, zlepšuje magnetické a mechanické vlastnosti oceli. Křemíková ocel je v ocelárnách zpracovávána za tepla i za studena na plechy a pásy. Ve směru válcování mají orientované plechy směr magnetizace. Plechy transformátorů jsou od sebe navzájem izolované oxidační vrstvou nebo lakem pro zamezení vzniku ztrát vířivými proudy. Transformátory můžeme rozlišit na jádrové (obr. 1.1 - 2a), kde vinutí (I) je rozděleno na dvě části, které jsou navinuty na jádře (2), a plášťové (obr. 1.1 - 2b), kde vinutí (I) je obklopeno pláštěm z transformátorových plechů. Jádrem (2) je nazývána část magnetického obvodu obklopená vinutím. Jádra jsou navzájem spojena spojkami (3). Plášťová konstrukce se užívá hlavně u transformátorů velkých výkonů.[11]

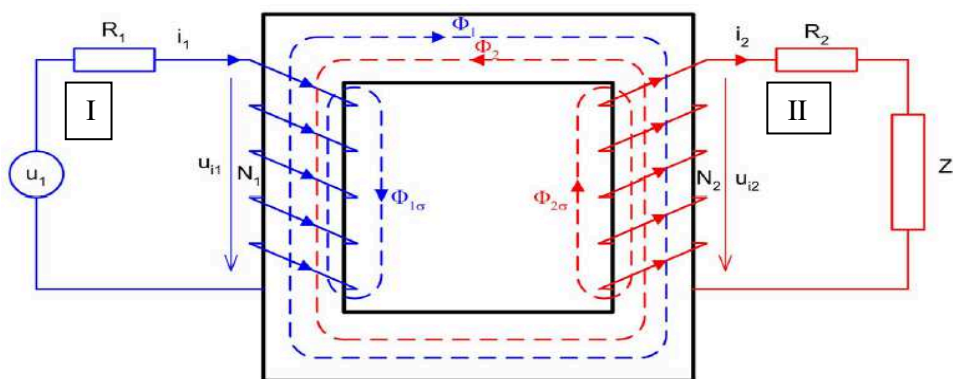


Obr. 1.1,2 Základní uspořádání transformátoru

1.1.3 Vinutí transformátoru

V transformátorech je elektrický obvod vytvořen vinutím. Jako materiálu pro vinutí transformátorů se používá převážně měděných a hliníkových drátů či pásků s vhodnou izolací – lak, bavlna, sklo, papír. Izolace v transformátorech je značně tepelně namáhána a s tím souvisí nutnost její odolnosti vůči stárnutí. Stárnutím izolace dochází k postupnému snižování mechanických a izolačních vlastností.

V případě jednofázových transformátorů se nejčastěji používá dvou vinutí, může jich však být i několik. U dvouvinutového transformátoru rozlišujeme primární (vstupní) vinutí, které odebírá energii ze sítě, a sekundární (výstupní), ze které se energie odebírá. Každé vinutí musí být dimenzováno z hlediska tepelného, mechanického a izolačního namáhání.



Obr. 1.3 Princip elektromagnetické indukce

- I. vstupní – primární – přijímající energii je napájeno ze zdroje střídavého napětí
- II. výstupní – sekundární – elektrickou energii vydává – napájí sekundární obvod

Do primárního - vstupního, vinutí je přivedeno střídavé napájecí napětí. Protože jde o uzavřený elektrický obvod primární cívky, prochází jejím vinutím střídavý proud. Okolo primárního vinutí cívky, jako kolem každého vodiče s proudem, se vytvoří střídavé magnetické pole, jehož magnetický tok Φ se uzavírá převážně jádrem transformátoru. Svými účinky zasahuje i vinutí sekundární cívky. V sekundárním vinutí se indukuje napětí o velikosti:

$$U_{i2} = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N_2 [\text{V}] \quad 1.1$$

Také primární vinutí je zasahováno střídavým magnetickým tokem, z tohoto důvodu se i v tomto vinutí indukuje napětí o velikosti:

$$U_{i1} = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N_1 [\text{V}] \quad 1.2$$

Pokud obě rovnice dáme do poměru:

$$\frac{U_{i1} = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N_1}{U_{i2} = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N_2} \quad 1.3$$

Pak získáme dělením obou rovnic rovnicí převodu transformátoru:

$$p = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} [-] \quad 1.4$$

Z uvedené rovnice převodu vyplývá, že proudy a napětí se transformují v obráceném poměru. Čím větší je napětí na sekundární straně, tím menší proud lze transformátorem do obvodu dodávat. Transformátory, které mají na sekundární straně malé napětí, mohou dodávat vysoké proudy (například pro svařování nebo tavení kovů).

Po připojení, na sekundární stranu transformátoru, spotřebiče, tzn. že, zatížíme transformátor na sekundární straně proudem I_2 , odebírá se z něj výkon:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 [\text{W}] \quad 1.5$$

Pokud zanedbáme ztráty v transformátoru, potom se příkon na primární straně rovná výkonu na sekundární straně:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \quad 1.6$$

A pokud je $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$, pak:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad 1.7$$

Z uvedeného vyplývá ověření tvrzení, že proudy a napětí se transformují i v obráceném poměru.

Na štítku transformátoru je vyznačen výkon zdánlivý (ve voltampérech). Činný výkon (ve wattech) je závislý na druhu zatížení – tedy závislost na účinníku $\cos\varphi$.

1.1.4 Možnosti řízení napětí u transformátoru

Z rovnice převodu a vztahu pro výkon transformátoru vyplývá, že změnu napětí na sekundární straně transformátoru lze uskutečnit vstupním napětím, nebo počtem primárních a sekundárních závitů. Tato změna se provádí nejčastěji odbočkami. Odbočky v transformátoru lze vyvést jak na primární straně, tak i na sekundární straně. Pokud potřebujeme řídit napětí na sekundární straně, odbočky se vyvedou na této straně. To stejné lze provést, potřebujeme-li řídit napětí primární.

Pokud se na primární straně připojí nižší napětí, použije se příslušná odbočka, z čehož vyplývá, že se sníží počet závitů na primární straně a tím i výkon transformátoru.

Pro transformátor platí, že veškeré vztahy vychází z převodu transformátoru.

1.1.5 Chlazení transformátoru

Podle chlazení aktivních částí se transformátory dělí na:

- suché - chlazení vzduchem, plynem nebo tuhým dielektrikem
- olejové - chlazení olejem nebo jinou izolační kapalinou
- suché s litou izolací.

Vlivem ztrát v magnetickém obvodu a ve vinutí se transformátory zahřívají a to může vést k omezení výkonu nebo až ke zničení izolace. Navýšení dovoleného oteplení o 10% může zapříčinit snížení životnosti izolace až o 50%. Způsob chlazení záleží na provedení transformátoru. Druh a způsob chlazení musí být uveden na štítku pomocí písemné značky [12]:

- chladiivo, které je ve styku s vinutím a způsob oběhu
- chladiivo, které je ve styku s vnějškem a způsob oběhu

Pro odvod tepla se používá několika druhů chladiiv:

- O - olej
- W - voda
- G - plyn
- A - vzduch
- S - druh pevného izolantu
- L - nehořlavá tekutina

Způsob provedení cirkulace chladiiva:

- N - odvod tepla přirozený
- D - odvod tepla nucený a řízený
- F - odvod tepla nucený a neřízený

Příklady chlazení uvedené na štítku:

- AN – transformátor s přirozeným odvodem tepla, chladiivo – vzduch
- AF – nucený odvod tepla – ventilátor, chladiivo – vzduch
- ONAN – transformátor s přirozeným prouděním, přirozený odvod tepla
- ONAF - transformátor s přirozeným prouděním a ofukováním

Pro mnohem horší chladicí poměry, vycházejí aktivní materiály u vzduchových transformátorů větší a dražší. Součástí olejových transformátorů, je nádoba, jejíž povrch bývá dle velikosti transformátoru buď hladký, nebo má tzv. radiátory, případně je transformátor vybaven chladičem a nucenou cirkulací

chladicího média (oleje). Součástí víka transformátoru jsou izolační průchodky, nejčastěji vyrobené z porcelánu a jsou důležitým prvkem pro připojení vývodů z transformátoru. Dalším prvkem, který je připevněn k víku transformátoru, je konzervátor oleje, ten zabráňuje styku oleje se vzduchem a umožňuje tepelné dilatace oleje. Ke konzervátoru bývá připojena nádobka se silikagelem, který se používá jako náplň do vysoušeče u transformátorů s konzervátorem, k zabránění vniknutí vlhkosti do transformátoru. Do spojovací trubice mezi transformátor a konzervátor je vřazeno plynové (Buchholzovo) relé, které signalizuje poruchu transformátoru, vyplývající z oteplení a reakcí plynů v oleji. Přírodní oleje, které jsou nejčastěji používaným chladicím médiem, jsou hořlavé, a to přináší značné a nákladné stavební úpravy a protipožární opatření. Oproti tomu syntetické oleje, které se v poslední době používají k chlazení, jsou nehořlavé, a vyznačují se i větší dielektrickou konstantou, a z ekonomického hlediska lze transformátory umístit v tomto případě blíže ke spotřebiči, takže se zlevní rozvody. Tyto oleje však mají i značné nevýhody. Mezi ně patří především vysoká cena a vylučování chlorových par, které dráždí zrak a dech, narušují pryskyřice, laky, gumy, atd.[11]

1.1.6 Základní rozdělení transformátorů

Transformátory můžeme rozdělit do několika základních skupin dle různých měřítek.

Prvním měřítkem je *počet fází*, pro který je transformátor určen – jednofázové, vícefázové. Nejvíce používané jsou trojfázové transformátory.

Druhým měřítkem je *počet vinutí na jednom sloupku* (tzv. jádře). Běžné transformátory mají obvykle dvě vinutí – primární a sekundární. Velké distribuční mají ještě další vinutí tzv. vyrovnávací (terciální).

Třetím měřítkem jsou *možnosti změny převodu* – transformátory s pevným převodem, přepínací, přepojitelné a říditelné.

Čtvrtým měřítkem jsou *parametry transformátorů* (dle výkonů, napětí).

Dalším dělením může být dle *druhu vinutí* – měděné nebo hliníkové vinutí, dále dle *druhu chlazení* suché a kapalinou chlazené (většinou olejové) – u těchto transformátorů je magnetický obvod společně s vinutím umístěn v nádobě s chladicí kapalinou (olejem).

1.2 Nejčastěji používané druhy energií a transformátorů v LDS na DNT

1.2.1 Druhy dodávané elektrické energie z LDS na DNT

LDS na DNT je napájena venkovním vedením 110 kV z rozvodny Verněřov (ČEZ Distribuce a.s.) dvěma vedeními V 937 a V 938 (z vývodů 14,16) přivedenými do rozvodny v Tušimicích a dvěma V 939 a V 940 (z vývodů 24,26) do rozvodny Málkov.

Rozvodna Verněřov je napájena z elektrárny Pruněřov I a II (EPR I, EPR II) a dále také z elektrárny Tušimice II (ETU II).[7](Příloha 4)

Používané napět'ové soustavy pro napájení technologických zařízení z LDS na DNT jsou:

- 110 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony nad 40 MV·A;
- 35 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 20 MVA až 25 MV·A;
- 6 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 2,5 MVA až 10 MV·A.

Používané napět'ové soustavy pro napájení jednotlivých pohonů technologických zařízení jsou:

- 35 kV, 50 Hz
- 6 kV, 50 Hz AC
- 500 V, 50 Hz AC
- 400/230 V, 50 Hz AC
- 690 V, 50 Hz AC
- 3000 V DC

Pro napájení jednotlivých technologických celků se používají zdroje 35/6 kV těchto výkonů hlavních transformátorů 4,0 MV·A, 6,3 MV·A a 10 MV·A umístěných jako součást přesuvných stanic TSN nebo DT. V případě napájení velkostrojů napětím 35 kV je používán transformátor 35/6 kV.



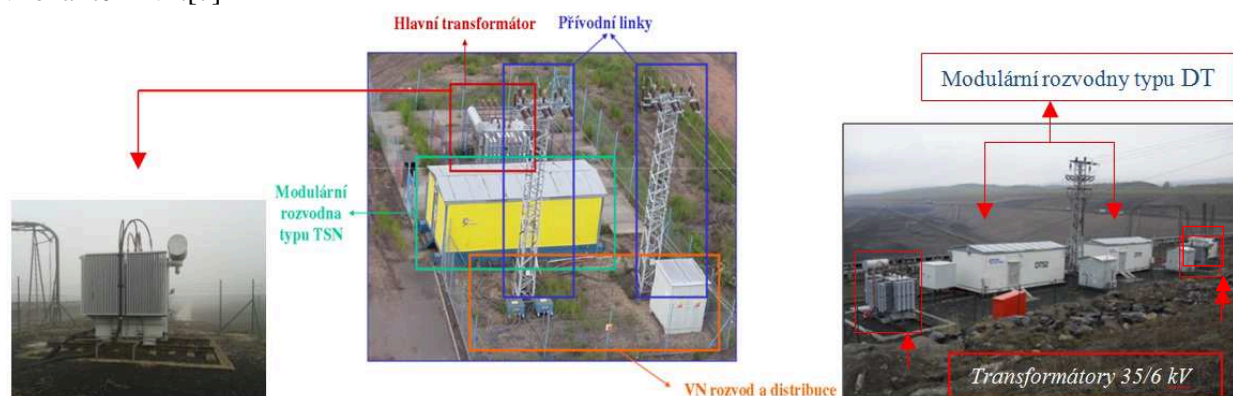
Obr. 1.4 Příklad distribuce elektřiny k přesuvným stanicím

1.2.2 Sítě IT

Sítě IT (insulation terre), používané v LDS na DNT musí být izolovány od země nebo spojeny se zemí přes dostatečně vysokou impedanci. Toto spojení může být provedeno buď ve středním bodu (uzlu) sítě, nebo v umělém středu. Umělý střed může být přímo spojen se zemí, jestliže výsledná impedance nulové složky je dostatečně vysoká. Norma ČSN 33 2000-4-41 popisuje dvě možnosti provedení a to bez vyvedeného středního vodiče a s vyvedeným středním vodičem. V síti DNT a ve většině průmyslových podniků se používá první z možností.[7]

1.2.3 Napájení v LDS venkovním vedením 35 kV

V těžebním prostoru DNT, který má rozsah přibližně 77 km², a jeho okolí, má LDS celkem 138 km venkovního vedení vn 35 kV převážně tažených lanem – 120 AlFe 6, 110/22 AlFe. Používají se jednoduchá a dvojité venkovní vedení na ocelových příhradových stožárech. Kromě toho jsou v prostoru lomu a výsypky a v předpolí lomu používána přesuvná venkovní vedení do 35 kV AC, která jsou přesouvána s technologickými zařízeními těžební techniky apod. Venkovní vedení vedou z hlavních rozvodů TR II v Tušimicích, TR III v Málkově a TR IV v Březně, do přesuvných rozvodných stanic TSN, VSS kiosků a nejnovější DT nebo dalších pomocných rozvodů TR21, TR211, 212, 213. V těchto rozvodnách a stanicích dochází k další transformaci 35/6/0,4 kV a jsou z nich napájeni jednotliví odběratelé, těžební Technologické celky skrývkových i uhelných lomů nebo externí firmy působící v lokalitě DNT.[7]



Obr. 1.5 Transformátory jako součást přesuvných stanic DT v prostorech uhelného lomu

1.2.4 Napájení v LDS kabelovým vedením 35 kV

Pro napájení skrývkových těžebních velkostrojů (SchRs 1550/4x30, SchRs 1320/4x30 a KU 800/20) se používají vlečné kabely 35 kV, kterých je v LDS přibližně 30 km. Jejich délka je proměnná, protože tyto stroje se pohybují ve svém těžebním prostoru. Napájení těchto skrývkových velkostrojů je zprostředkováno pomocí kabelových vozů (každý s vlečným kabelem dlouhým až 2000 m), které se spojují za sebou. Nejčastěji se používají kabely 35CHVU 3x70+3x16+25. Na těžebních velkostrojích typu SchRs je na vstupu umístěn olejový transformátor 35/6/0,4 kV - 6300 kV·A (SchRs 1320), respektive 35/6 kV – 5000 kVA (SchRs 1550). Dále pak na jednotlivých tzv. stavbách velkostrojů jsou používány suché transformátory 6/0,4 kV – 2000 kV·A (dále pak 1600 a 2500 kV·A). Na rypadle typu KU 800 je použito 4x transformátoru 35/6 kV, 1600 MV·A, které se dle potřeby zapínají do paralelního chodu transformátorů.[7]

1.2.5 Napájení v LDS napětím 6 kV – kabelová vedení

Pro napájení pásových dopravníků, uhelných těžebních velkostrojů a základacích velkostrojů skrývky i uhelných lomů je použito venkovní kabelové vedení 6 kV, připojené do přesuvných stanic (TSN, DT, TSB). V prostoru DNT je přibližně 250 km 6 kV kabelů. Nejčastěji se používají kabely 6 CHCBU 3x95+3x16. Pro napájení těžebních uhelných, základacích uhelných a skrývkových velkostrojů se používají opět kabelové vozy. Na vstupech poháněcích stanic DPD jsou většinou

používány suché transformátory 6/0,4 nebo 0,5 kV, 400 kV·A, u základacích velkostrojů pak suché transformátory 6/0,4 kV, 1000 kV·A.[7]

1.2.6 Napájení v LDS napětím 0,4 kV

Z pomocných rozvodů TR 21, TR 211,212,213, kde dochází k transformaci napětí 6/0,4 kV jsou napájení odběratelé nn a to jak externí firmy a jejich dílenské provozy, tak i prostory patřící DNT (drtírny, správní budovy, laboratoře, atd.). Tyto rozvodny používají suché transformátory 6/0,4 kV, 630 až 1000 kV·A.[7]

1.2.7 Nejčastěji používané transformátory

V LDS na DNT se používá celé řady transformátorů, které jsou součástí distribuční sítě, velkostrojů atd. Používá se transformátorů od několika výrobců - např. BEZ Bratislava, Škoda Plzeň, VEB, SGB Germany, EJF Brno a další. Příklady transformátorů, které se provozují na DNT, jsou uvedeny v následujících tabulkách (příklady uvádějí jen transformátory na skrývkových řezech a některých trafostanic, vybavení uhelných lomů transformátory je podobné).

Tab. 1.1 Příklad použitých transformátorů na skrývkovém řezu S 1 na DNT.

Transformátory na skrývkovém řezu S - 1			kV.A	h.ú.	V	A	V	A	typ	t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	Up	Ip	Us	Is	chlaz.	olej	ek/uk	cel.
SchRs15 - 01TM1	THT07BN5M/O	Specialtr.Italy	5000	Dy11	35000	82,5	6300	458,2	trafoolej	1950	6,88	9100
SchRs15 - 05TM1	DTTH1600/6	SGB Germ.	1600	Dyn1	6000	154	400	2309	vzduch	0	6,4	3500
SchRs15 - 03TM1	DTTH1000/6	SGB Germ.	1000	Dyn1	6000	96,2	400	1443	vzduch	0	5,9	2280
SchRs15 - kompen	aTBSE772/10M	BEZ	630	Dy1	6000	60,6	525	695	vzduch	0	5,99	2150
PD 224	DTTH400/6	SGB Germ.	400	Dyn1	6000	38,5	400	577	vzduch	0	4,2	1230
PD 261	DTTH400/6	SGB Germ.	400	Dyn1	6000	38,5	400	577	vzduch	0	4,2	1230
PD 270	DTTH400/6	SGB Germ.	400	Dyn1	6000	38,5	400	577	vzduch	0	4,2	1230
PD 201	aTSE732/10	BEZ	250	Dyn1	6000	24,1	400/231	362,84	vzduch	0	5,84	1100
PD 201	aTSE792/10	BEZ	1000	Dyn1	6000	96,2	690/398	836,74	vzduch	0	6,43	2950
PD 209	aTBSE752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,5	525	439,9	vzduch	0	5,76	1500
PD 209	TVO331.07	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,6	220	83	vzduch	0	neuv	208
ZP-100 (6800/1)	ATBSE792/10	BEZ	1000	Dy1	6000	96,2	525	1100	vzduch	0	6,3	2390
ZP-100 (6800/1)	ATBSE712/10A	BEZ	160	Yzn1	6000	15,4	400/231	231	vzduch	0	5,32	790

Tab. 1.2 Příklad použitých transformátorů na skrývkovém řezu S 2 na DNT.

Transformátory na skrývkovém řezu S 2			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	Up	Ip	Us	Is	Chlaz	olej	ek/u k	celk.
KU800/8-T1.5	aTB0B4 12/35	BEZ	1300/300	Yy0/Yyn0	35000	21,4/4,94	525/231	1430/750	Trafo olej	1650	8,29/3,09	5800
KU800/8-T1.1	aTB04 12/35	BEZ	1600	Yyn0	35000	26,4	6300	146,5	Trafo olej	1650	5,76	5550
KU800/8-svět.	DTKa63.1	VEB-NDR	63	Yy0	6000	6,06	231	158	vzduch	0	4,1	430
ZP-80-hl.tr.	DTTH 1000/6	SGB	1000	Dyn1	6000	96,2	525	1100	vzduch	0	6	2280
ZP-80-sv.tr.	DTTHL 160/6	SGB	160	Dyn1	6000	15,4	400/231	231	vzduch	0	3,6	800
PD 218	ATSE 752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	0	5,73	1500
PD 218	TVO331.0 7	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,6	220	83	vzduch	0	neuv	206
PD 210	ATBSE 752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	0	5,93	1500
PD 210	DTKa63	VEB-NDR	63	Yy0	6000	6,06	231	158	vzduch	0	3,9	430
PD 252	TOC-31,5	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,6	220	83	vzduch	0	neuv	291
PD 276	KBSE 752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,5	525	440	vzduch	0	5,8	1500
PD 276	ATBSE 692/10	BEZ	100	Yyn0	6000	9,62	231/133	250	vzduch	0	6,2	350
PD 207	400 kVA	EFACEC Port.	400	Dyn1	6000	38,49	525	439,9	vzduch	0	neuv	1500
PD 207	TVO331.0 7	EXIMET	31,5	Yz1	500	36,6	220	83	vzduch	0	neuv	206
PD 282	DTTH 400/6	SGB-Germ	400	Dyn1	6000	38,5	400	577	vzduch	0	4,2	1230
SchRs13-hl.tr	PIVI	Special trasform	6300	Dy5/yn11	35000	104	6000/400	550/433	Trafo olej	2400	7,3	12000
SchRs13-trkol.1	DTTHDG 2000/6	SBG - Ger	2000	Dd0d11,33 d0,67	6000	192,5	3x2100	3x183	suchý	0	neuv	5780
SchRs13-.05TM1	DTTHG 1600/6	SBG - Ger	1600	Dyn1	6000	154	400	2309	suchý	0	6	3950
SchRs13-.07TM1	DTTHG 2500/6	SBG - Germ	2500	Dyn1	6000	240,6	400	3608	suchý	0	6,1	5900
DSOH č.	DTHa 160/6	VEB-NDR	160	Yy0	6000	15,4	525	176	vzduch	0	3,7	760
KABEL. VŮZ	DTHa 100/6	VEB-NDR	100	Yy0	6000	9,63	525	110	vzduch	0	3,75	610

Tab. 1.3 Příklad použitých transformátorů na skrývkovém řezu S 3 na DNT.

Transformátory na skrývkovém řezu S 3			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	Up	Ip	Us	Is	chlaz.	ek/uk	hmotn
KU800/20-0105	DTTHKG1600/30	SGB-Germ	1600//1300/300	Yyn0y0	35000	26,4	525/231	1429,6/749,8	vzduch	7,2/2,9	5390
KU800/20-0101	DTTH1600/30	SGB-Germ	1600	Yy0	35000	26,4	6300	146,6	vzduch	5,9	4800
KU800/20-svět	DTKa100.1	VEB-NDR	100	Yy0	6000	9,62	231	250	vzduch	4,2	540
KU800/20-RMF	EDM	EdM Transf.	1000	Dyn1	6000	96,2	690	836,7	vzduch	6	2380
ZPDH6300/1-101	DTTH2500/6	SGB-Germ	2500	Dyn1	6000	241	420	3437	vzduch	6,2	5540
PD 211	TS3R12.0250	GBE Italy	250	Dyn1	6000	24,06	400	360,84	vzduch	6,3	900
PD 221	ATBSE752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	5,84	1500
PD 221	DTKa63.1	VEB-NDR	63	Yy0	6000	6,06	231	158	vzduch	4,1	430
PD 260	DTKa400.1	VEB-NDR	400	Dy1	6000	38,5	525	440	vzduch	6,1	1390
PD 260	TVO331.07	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,8	220	83	vzduch	neuv	206
PD 253	TOC31.5	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,7	231	79	vzduch	neuv	291
PD 203	ATBSE752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	5,93	1500
PD 257	TOC31.5	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,7	231	79	vzduch	neuv	291
PD 259	ATBSE752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	5,96	1500
PD 259	TVO331.07	EJF Brno	31,5	Yz1	500	36,8	220	83	vzduch	neuv	206
PD 266	ATBSE752/10M	BEZ	400	Dy1	6000	38,48	525	439,5	vzduch	5,89	1500

Tab. 1.4 Příklad použitých transformátorů v transformovnách TR 2, TR 3, TR 4, TR 21 v LDS na DNT

Transformátory - TR 2			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	prim.U	prim.I	sek.U	sek.I	chlaz.	olej	ek/uk	hmot
T 101	5ER31M	ŠKODA Plzeň	25 000	YNyn0/(d)	110 000	131	35000/6300	393/733	trafoolej	16000	11,26	57000
T 102	5ER31M	ŠKODA Plzeň	25 000	Yy0/d	110 000	131	35000/6300	393/733	trafoolej	16000	11,2	57000
T 31	AKNTF 8000/35	Transzfor. Budap	6 300	Yd1	35 000	104	6300	578	trafoolej	3850	7,6	17400
T 34	AKNTF 8000/35	Transzfor. Budap	6 300	Yd1	35 000	104	6300	578	trafoolej	3850	7,4	17400
T 32	TMC160	TMC ITALIA	160	Yzn1	35 000	2,64	400	230,94	epox	0	5,6	1400
T 33	TMC160	TMC ITALIA	160	Yzn1	35 000	2,64	400	230,94	epox	0	5,6	1400
K 1-4 T44	aTO 452/35	BEZ	4 000	YNd1	35 000	66	6300	366,6	trafoolej	3000	6,03	11650

Transformátory - TR 3			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	prim.U	prim.I	sek.U	sek.I	chlaz.	olej	ek/uk	hmot
T 101	8ERH33M	ŠKODA Plzeň	40 000	YNyn0/d	110 000	210	35000/6300	628/1145	trafoolej	19500	10,9	76000
T 102	5ER31M	ŠKODA Plzeň	25 000	Yy0/d	110 000	131	35000/6300	393/733	trafoolej	16000	11,25	57000
T 103	AI- 1ER31M	ŠKODA Plzeň	25 000	Yy0/d	110 000	131	35000/6300	393/733	trafoolej	23100	11,9	75880
K1 - T 1	aTO472/35	BEZ	6 300	YNyn0	35 000	104	6300	578	trafoolej	3770	6,83	15500
T 3	aT0452/35	BEZ	4 000	YNd1	35 000	66	6300	366,6	trafoolej	2760	5,85	11450

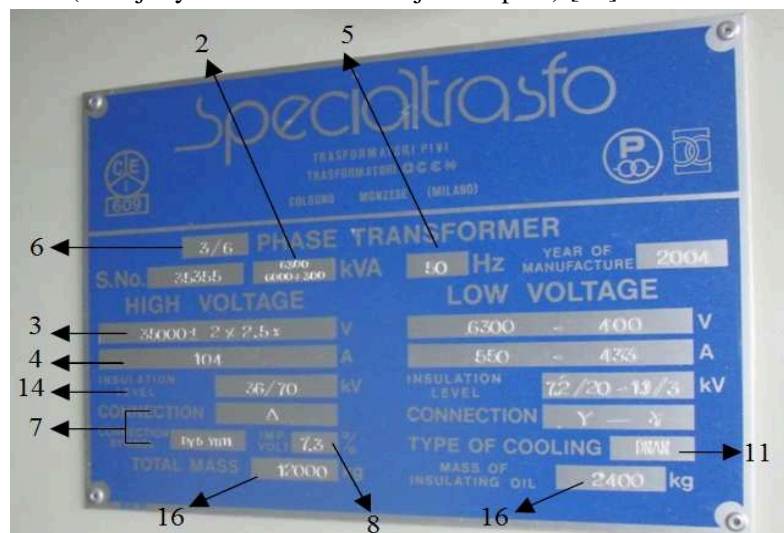
Transformátory - TR 4			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	prim.U	prim.I	sek.U	sek.I	chlaz.	olej	ek/uk	hmot
TA 31	TM630/ 35-74Y1	SSSR	630	DYN1	35 000	10,4	400/231	909,3	trafoolej	750	5,99	3200
TA 32	TM630/ 35-74Y1	SSSR	630	DYN1	35 000	10,4	400/231	909,3	trafoolej	750	5,83	3200

Transformátory - TR 21			kV.A	h.ú.	V	A	V	A		t	%	kg
umístění	typ	výrobce	výkon	spoj.	prim.U	prim.I	sek.U	sek.I	chlaz.	olej	ek/uk	hmot
T 61	TRIHAL	france transfo	630	Dyn01	6 000	60,6	400	909,3	vzduch	0	6	2000
T 62	TRIHAL	france transfo	630	Dyn01	6 000	60,6	400	909,3	vzduch	0	6	2000
T 67	aTS801/6- A	BEZ	1 000	Dy1	6 000	96,3	400/231	1442	vzduch	0	5,2	4440
T 68	aTS801/6- A	BEZ	1 000	Dy1	6 000	96,3	400/231	1442	vzduch	0	5,27	4440
T1	TMC 630	TMC Italia	630	DYn1	6 000	60,62	400	909,33	vzduch	0	5,85	1800
T2	TMC 630	TMC Italia	630	DYn1	6 000	60,62	400	909,33	vzduch	0	5,77	1800

1.3 Důležité štítkové informace na transformátorech

1. Druh transformátorů (např. distribuční, blokový).
2. Stanovený výkon S v kV·A, MV·A
3. Stanovené napětí (u vícefázových transf. je to obvykle napětí mezi fázovými svorkami) v kV.
4. Stanovený proud (u vícefázových transformátorů je to obvykle proud v přírodním, síťovém vodiči) v A.
5. Stanovený kmitočet v Hz.
6. Počet fází.
7. Znak spojení (u třífázových transformátorů) Yy6: Y - vstupní vinutí do hvězdy, y - výstupní vinutí do hvězdy, 6 - hodinový úhel, (D,d,z:D - zapojení vstupního vinutí do trojúhelníka, d - výstupního vinutí rovněž do trojúhelníka nebo z - lomené hvězdy. Hodinový úhel není časový údaj, ale vyjadřuje fázový posuv mezi napětím vstupního a výstupního vinutí. Jedna hodina představuje fázový posuv o 30°.
8. Napětí nakrátko u_k (e_k - starší transformátory) v %.
9. Proud nakrátko i_k v %

10. Druh zatížení - trvalé se značí S1, krátkodobý chod S2, přerušovaný chod - S3, přerušované zatížení - S6, atd.
11. Druh chlazení, druh chladiva se označuje písmeny např. olej - O, plyn - G, voda - V, vzduch - A, pevný izolant - S, způsob oběhu chladiva přirozený - N, nucený neřízený - F, nucený řízený - D
12. Krytí transformátoru
13. Třída izolace vinutí
14. Izolační hladina
15. Druh prostředí, ve kterém může transformátor pracovat
16. Celková hmotnost (u olejových – navíc váha olejové náplně) [13]



Obr. 1.6 Štítek transformátoru 35/6,3/0,4 kV umístěném na velkstroji SchRs 1320

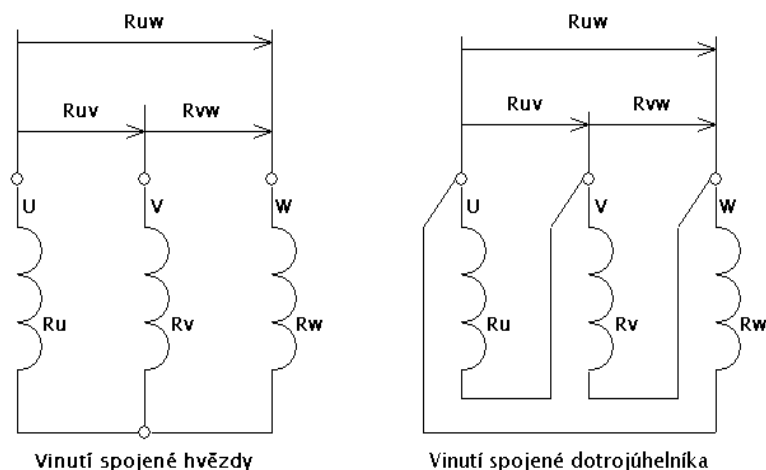
1.4 Měření na transformátorech

1.4.1 Měření činného odporu vinutí transformátoru

Pro transformátorové vinutí se činný odpor měří pro všechna vinutí jak na výstupní, tak na vstupní straně transformátoru. Odpor se měří na všech odbočkách vinutí, které jsou dostatečně přístupné pro připojení měřících přístrojů a při všech polohách přepínače odboček vinutí. Při měření musí být transformátor bezpečně odpojený od sítě z obou stran a jeho teplota by měla být přibližně stejná s okolím. Odpor se měří buď přímou, nebo můstkovou metodou. Při měření velikost proudu nesmí překročit 0,2 násobek hodnoty jmenovitého proudu vinutí.

Při určování činného odporu se začíná změřením odporů mezi svorkami U, V, W – R_{UV} , R_{UW} , R_{VW} . Pokud chceme zjistit pouze střední hodnotu odporu jedné fáze, nebo pokud se naměřené hodnoty odporů mezi svorkami liší jen minimálně, můžeme stanovit odpor jedné fáze vinutí R_f jako střední hodnotu z naměřených hodnot dle vztahu[1]:

$$R_f = \frac{1}{6} \cdot (R_{UV} + R_{UW} + R_{VW}) [\Omega] \quad 1.8$$



Obr. 1.7 Měření činného odporu vinutí

1.4.2 Měření izolačního odporu, určení polarizačního indexu a časové konstanty transformátoru

Stav izolace vinutí je důležitým faktorem pro spolehlivý chod transformátoru. Na odolnost izolace proti nežádoucím vlivům prostředí, teploty má vliv druh materiálu izolace a také způsob její impregnace. Zkouška izolačního stavu vinutí se provádí před uvedením stroje do provozu, nebo po jeho dlouhodobějším odstavení z provozu a dále při revizích stroje.

Pokles izolačního odporu tedy souvisí s vlivem vlhkosti a různých vodivých nečistot. V rámci měření se většinou odečítají dvě hodnoty proudu a to v čase 15 a 60 s po připojení měřícího napětí. Za absolutní velikost izolačního odporu se pak považuje hodnota naměřená 60 s po připojení napětí. Takto získané hodnoty jsou předpokladem pro určení minutového **polarizačního indexu** p_{il} :

$$p_{il} = \frac{i_{15}}{i_{60}} [-] \quad 1.9$$

i_{15} - proud odečtený 15 s po přiložení napětí

i_{60} - proud odečtený 60 s po přiložení napětí

Další důležitou veličinou pro určení stavu izolačního systému stroje je **časová konstanta** τ . Vychází z naměřených hodnot izolačního odporu a kapacity transformátoru. Kapacitu lze uvažovat jako její jmenovitou hodnotu (dána výpočtem při konstrukci vinutí), nebo změřenou hodnotou:

$$\tau = R_{iz60} \cdot C_{50} [s] \quad 1.10$$

R_{iz60} - izolační odpor určený v čase 60 s po připojení měřícího napětí [MΩ]

C_{50} - kapacita izolace měřená při 50 Hz [μF]

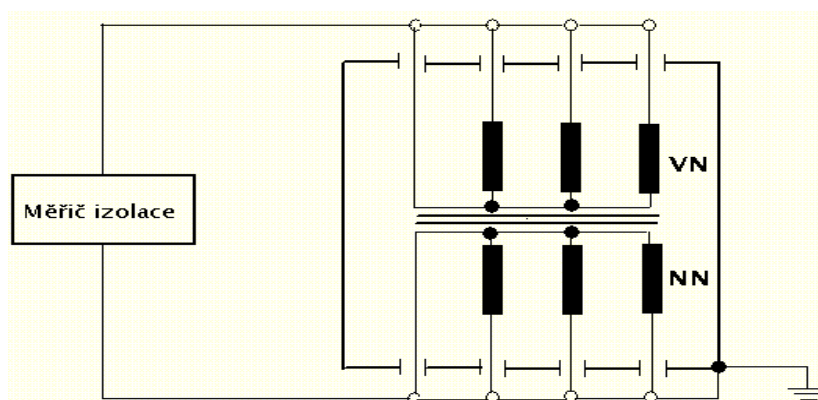
Měření izolačního odporu se provádí po úplném oboustranném odpojení transformátoru od rozvodné sítě a samozřejmě při dodržení všech bezpečnostních opatření. Důležitá je teplota stroje a proto je třeba vyčkat na srovnání teplot všech částí transformátoru (cca. dvě hodiny). Před samotným měřením je třeba spojit všechna vinutí transformátoru nakrátko a s kóstrou stroje, tím se odstraní zbytkové náboje. Nádob

transformátoru musí být uzemněna. Měří se odpor jednotlivých vinutí proti sobě s připojenou nebo uzemněnou nádobou transformátoru.

Tab. 1.5 Příklad zapojení vinutí transformátoru při měření izolačního odporu

Transformátory s dvojitým vinutím		Transformátory s trojitým vinutím	
Měřené vinutí	uzemněno	Měřené vinutí	uzemněno
VN	NN, k	VN	SN, NN, k
NN	VN, k	SN	VN, NN, k
VN+NN	k	NN	VN, SN, k
		VN+SN	NN, k
		VN+SN+NN	k

VN – vinutí vyššího napětí, SN – vinutí středního napětí, NN – vinutí nižšího napětí, k – kostra, nádoba



Obr. 1.8 Příklad zapojení pro měření R_{iz} u dvouvinutového transformátoru při zapojení V:(N+k)

Dále se také měří izolační odpory mezi jednotlivými vinutími stroje. Ostatní vinutí, aby se vyloučil vliv na měřené vinutí, musí být připojeny ke stínícímu vývodu. V případě opakovaných měření je důležité postupovat stejně jako při prvním měření (způsob zapojení, polarita). Výsledky z naměřených hodnot porovnáváme s hodnotami z předchozích měření, nebo také s hodnotami nového stroje. Pokud je změna vyšší než 40 %, je třeba najít příčinu. U nových strojů a strojů po revizi se udává, že minimální hodnota polarizačního indexu nesmí klesnout pod 1,7. U strojů provozovaných 1,3 a časová konstanta se, v závislosti na provozním napětí stroje, pohybuje v rozmezí 5 – 10s.[1]

Minimální hodnoty izolačního odporu R_{60} pro stroje v provozu při teplotě 20 až 25°C by měly vyhovovat vztahu:

$$R_{iz} [M\Omega] = U_n [kV] \quad 1.11$$

U_n - jmenovité sdružené napětí příslušného vinutí

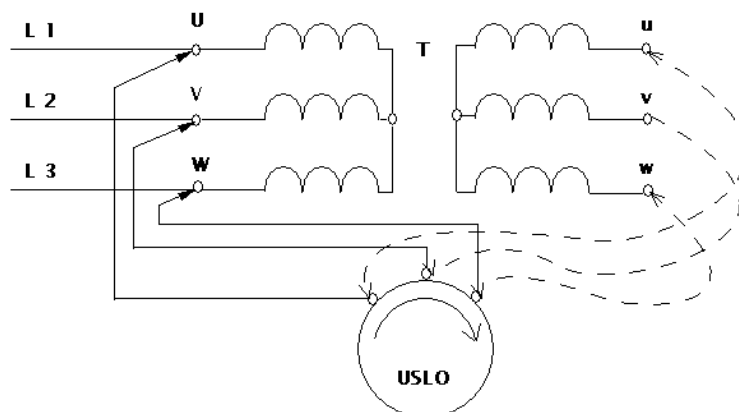
1.4.3 Kontrola sledu fází 3fázového transformátoru

Takzvaným necyklickým zapojením svorek 3fázového transformátoru se vždy změní sled fází, zatímco při cyklickém zapojení se sled fází nezmění. Necyklické zapojení lze provést přepojením kterýchkoliv dvou svorek, když třetí zůstane v původním zapojení. Změnou sledu fází se změní smysl

sledu fázorů. Sled fází se stanovuje nebo kontroluje např. ukazatelem sledu fází (Uslo). Tato kontrola se provádí takovýmto způsobem:

a/ Ukazatel sledu fází se připojí k vinutí strany vyššího (primárního) napětí transformátoru na označené svorky U, V, W, které napájíme sníženým 3f napětím obr. 1.9. Nebude-li se rotor ukazatele otáčet ve směru vyznačené šipky, pak je nutné změnit dva libovolné přívodní vodiče mezi sebou.

b/ Připojíme ukazatel sledu fází na odpovídající svorky strany nižšího (sekundárního) napětí transformátoru (u, v, w) a pokud se rotor ukazatele otáčí ve směru vyznačené šipky, je sled fází správný. V opačném případě je značení svorek nesprávné.[1], [5]

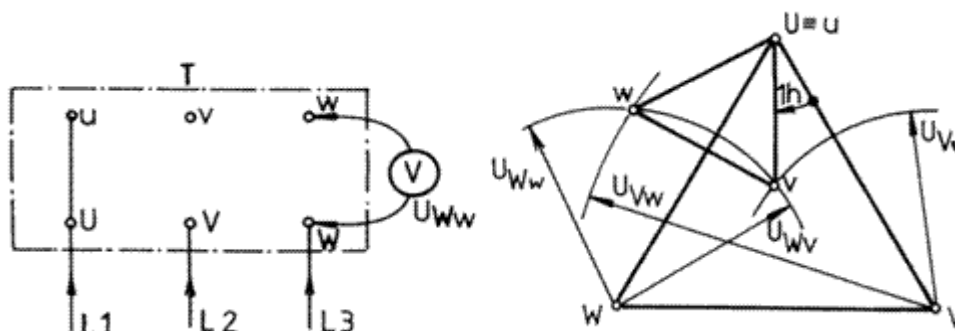


Obr. 1.9 Příklad zapojení pro měření sledu fází

1.4.4 Určení hodinového úhlu

Velmi důležitým štítkovým údajem na transformátorech je úhel natočení fází, tzv. hodinový úhel. Je jedním z hlavních parametrů pro paralelní chod transformátorů a definován je jako úhel měřený od fázoru sdruženého napětí strany vyššího napětí k fázoru sdruženého napětí strany nižšího napětí ve směru chodu hodinových ručiček. Vyjadřuje se v hodinách, přičemž $30^\circ = 1$ hodina. Hodinový úhel je závislý na zapojení vinutí transformátoru a označení jeho svorek. Zapojení vinutí 3f transformátoru (se dvěma vinutími) je zapsáno znakem spojení, které se skládá ze dvou písmen a jedné číslice. První velké písmeno udává typ zapojení vinutí na straně primární (vyšší napětí), druhé malé udává typ zapojení vinutí na straně sekundární nižší napětí. Číslice pak udává hodnotu hodinového úhlu.[1], [5]

Příklady zapojení: Y, y – zapojení do hvězdy, D, d – zapojení do trojúhelníka, dalším možným zapojením je do lomené hvězdy na straně nižšího napětí, které se používá při nerovnoměrném zatížení transformátoru. Označení Y,d1 pak tedy znamená – primární strana transformátoru je zapojena do hvězdy a sekundární do trojúhelníka a dále, že hodinový úhel je jedna hodina.



Obr. 1.10 Grafická konstrukce pro určení hodinového úhlu

Nejvíce používané jsou hodinové úhly 0, 1, 11 méně používané pak 5, 6, 7. Nelze provést spojení 3, 9.

Vinutí každé fáze 3f transformátoru, vyvedené na svorky, se označují v pořadí zleva doprava při pohledu ze strany vyššího napětí U, V, W a nižšího napětí u, v, w. Uzel, pokud je vyveden, se značí N, je umístěn vlevo od svorek fází při pohledu ze strany vyššího napětí. Měřicích metod, pro určení hodinového úhlu, existuje několik. Jedna využívá měření napětí voltmetrem (obr. 1.10). Na transformátoru se propojí dvě svorky stejného označení U,u (vyššího a nižšího napětí) a stranu vyššího napětí napájíme souměrným, sníženým 3f napětím. Voltmetrem pak měříme napětí U_{UV} , U_{VW} , U_{UW} , U_{Vv} , U_{Ww} , U_{Vw} , U_{uv} , U_{uw} . Z naměřených hodnot pak sestavíme grafickou konstrukcí (obr. 1.10), nebo tabulku (tab. 1.6 – s porovnáním naměřených hodnot hodinový úhel). [1]

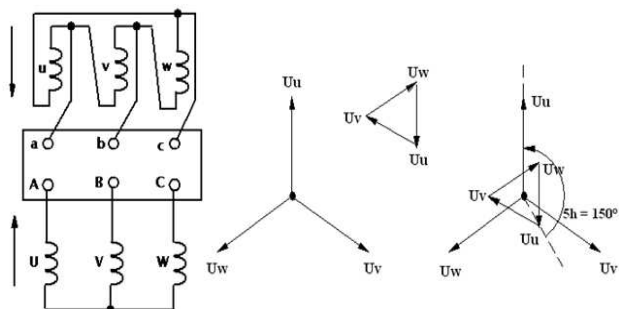
Tab. 1.6 Určení hodinového úhlu ze svorkových hodnot naměřených mezi svorkami

1	2	3	Hodinový úhel
$U_{vv} = U_{ww}$	$U_{vv} < U_{vw}$		0
$U_{vw} = U_{wv}$	$U_{vv} > U_{wv}$		6
$U_{vv} = U_{ww} = U_{wv}$	$U_{vv} < U_{vw}$		1
	$U_{vv} > U_{wv}$		7
$U_{vv} = U_{vw} = U_{ww}$	$U_{vv} > U_{wv}$		5
	$U_{vv} < U_{wv}$		11
$U_{vv} = U_{ww}$	$U_{vv} < U_{uw}$		2
	$U_{vv} > U_{uv}$		
	$U_{vv} < U_{uv}$		10
	$U_{vw} < U_{uw}$		
	$U_{vv} > U_{uw}$	$U_{vw} < U_{uv} + U_{uv}$	3
	$U_{vw} > U_{uv}$	$U_{vw} = U_{uv} + U_{uv}$	4
	$U_{vv} > U_{uv}$	$U_{wv} = U_{uv} + U_{uv}$	8
	$U_{vw} < U_{uv}$	$U_{wv} < U_{uv} + U_{uv}$	9

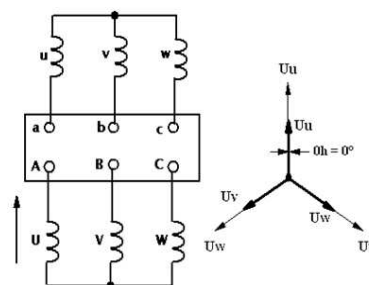
Příklad zapojení Yd5 je na obr. 1.11 kde:

- zapojení svorkovnice (do hvězdy - primární strana, do trojúhelníka - sekundární strana)
- fázorový diagram strany vyššího napětí při zapojení do hvězdy
- fázorový diagram strany nižšího napětí při zapojení do trojúhelníka
- celkový fázorový diagram – hvězda je umístěna do těžiště trojúhelníku, hodinový úhel je mezi příslušným fázorem a spojnici těžiště s vrcholem trojúhelníku

Na obrázku 1.12 – je zapojení Yy0.



Obr. 1.11 Zapojení Yd5 a fázorové diagramy



Obr. 1.12 Zapojení Yy0 a fázorový diagram

1.4.5 Měření na transformátoru naprázdno

Transformátor ve stavu naprázdno odebírá ze sítě příkon na pokrytí ztrát v železe ΔP_{Fe} (ztráty hysterezní a ztráty vířivými proudy) a ztrát v napájeném vinutí, kterým teče proud naprázdno. Ztráty v železe jsou přibližně úměrné druhé mocnině magnetické indukce, přičemž indukce je přímo úměrná napětí. Tedy ve stavu naprázdno budou ztráty v železe při jmenovitém napětí rovněž jmenovité. Ztráty ve vinutí budou ve srovnání se ztrátami v železe velmi malé, neboť i proud naprázdno je velmi malý.[9]

Při měření na transformátorech zapojených naprázdno se měří zpravidla na vinutí nižšího napětí při jmenovitém napětí a jmenovitém kmitočtu, zbylá vinutí nejsou na vnější obvody připojena. Měřením (nebo také zkouškou) naprázdno se zjišťují hlavně tyto údaje:

- proud naprázdno
- ztráty naprázdno
- převod napětí naprázdno
- účinník naprázdno.

1.4.5.1 - Proud naprázdno I_0

Obvykle bývá v rozmezí 1,5 - 10 % I_N i více, kdy I_N je jmenovitý proud transformátoru. Vyšší hodnoty I_0 platí pro menší transformátory, menší hodnoty pro větší transformátory. Proud I_0 má jalový charakter a vedle složky jalové (magnetizační) I_μ , má ještě malou složku činnou $I_{Fe} \approx 10\% I_\mu$ na krytí ztrát v železe ΔP_{Fe} . Z tohoto důvodu má účinník naprázdno $\cos \phi_0$ proudu I_0 nízkou hodnotu 0,05 - 0,3.

1.4.5.2 - Ztráty naprázdno ΔP_0

Ztráty naprázdno se rovnají příkonu, který je přiveden do transformátoru naprázdno. Bývají 0,3 - 1 % S_N . S_N je zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru. Malé hodnoty platí pro větší transformátory, větší hodnoty pro menší transformátory. Ztráty ΔP_0 obsahují ztráty v železe ΔP_{Fe} , ztráty v činném odporu vinutí (Joulovy ztráty) ΔP_{j0} , dodatečné (přídavné) ztráty ve vodičích ΔP_d , v železných částech konstrukce a nádobě a také ztráty v dielektriku. Ztráty naprázdno ΔP_0 běžně považujeme za ztráty v železe, tj. $\Delta P_0 \approx \Delta P_{Fe}$.

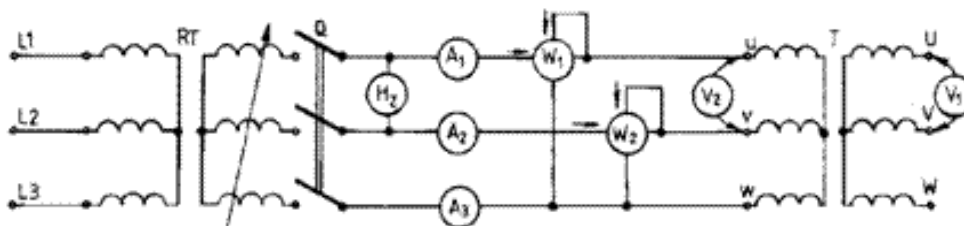
1.4.5.3 - Převod napětí naprázdno

Převod napětí u transformátoru naprázdno je definován z praktického hlediska jako poměr napětí strany vyššího napětí U_{10} proti napětí strany nižšího napětí U_{20} :

$$p = \frac{U_{10}}{U_{20}} [V] \quad 1.12$$

Pro měření na transformátorech naprázdno je možné použít několika způsobů zapojení, především s ohledem na měření ztrát ΔP_0 . Pro měření ztrát ΔP_0 je obvykle použita metoda dvou nebo tří wattmetrů. V případě že je napětí souměrné, postačí k měření jeden voltmetr na straně vyššího napětí a druhý na straně nižšího napětí měřeného transformátoru. Ve všech fázích transformátoru se měří proudy, protože u trojfázových jádrových transformátorů se projevuje tzv. magnetická nesymetrie – magnetický obvod prostředního sloupku je kratší než u krajních sloupků. Z těchto naměřených hodnot proudů a napětí bereme střední hodnotu.

Při měření se postupuje tak, že po zapnutí vypínače Q nastavíme napětí, přiváděné na vinutí (obr. 1.13) na sekundární stranu měřeného transformátoru, regulačním transformátorem RT na jmenovitou hodnotu při jmenovitém kmitočtu. Protože účinník naprázdno $\cos\phi_0 < 0,5$ bude jeden z wattmetrů ukazovat zápornou výchylku, i když jejich zapojení je správné. Pak stačí přepojit mezi sebou přívody např. k napěťové cívice tohoto wattmetru a odečtený údaj brát jako záporný [1], [5]



Obr. 1.13 Schéma zapojení při měření transformátoru naprázdno

1.4.6 Měření transformátoru nakrátko

Toto měření se provádí obvykle na straně vinutí vyššího napětí při jeho jmenovitém proudu a jmenovitém kmitočtu, vinutí nižšího napětí se spojí nakrátko spojkami dostatečného průřezu. Tímto měřením se zjišťují:

- ztráty nakrátko
- napětí nakrátko
- účinník nakrátko.

1.4.6.1 Ztráty nakrátko ΔP_k

Ztráty nakrátko ΔP_k jsou Joulovými ztrátami ΔP_j v činných odporech obou vinutí, protože ztráty ΔP_{Fe} jsou velmi malé. Ztráty nakrátko ΔP_k v sobě obsahují i ztráty vířivými proudy, ve vinutí transformátoru a jiné, tzv. dodatečné ztráty ΔP_d . Ztráty se obvykle přepočítávají na provozní teplotu vinutí transformátoru, která se pohybuje na hranici 75°C - je-li vinutí vyrobené s třídou izolace A,E,B nebo teplota 115°C - je-li vinutí s izolací třídy F, H. Ztráty ΔP_k bývají obvykle 1,5 - 3,5krát vyšší než ztráty naprázdno ΔP_0 a ztráty dodatečné ΔP_d činí 5 - 40 % ΔP_k což závisí na velikosti transformátoru. U malých transformátorů už se nemusí uvažovat s ΔP_d .

1.4.6.2 Napětí nakrátko U_{lk}

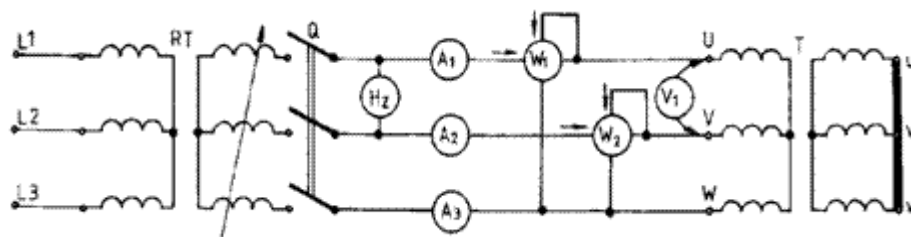
Další měřenou veličinou při měření (nebo také zkoušce) je napětí nakrátko U_{lk} , které má vliv na zkratové poměry a je potřeba k výpočtu úbytku napětí na transformátoru. Je to takové napětí na vstupních (primárních) svorkách transformátoru nakrátko, při kterém napájeným vinutím teče jmenovitý proud o jmenovitém kmitočtu. Vyjadřuje se v procentech jmenovitého napětí napájené strany a je jednou ze

štítkových hodnot na transformátoru. Značí se U_k a bývá 3 – 12 % U_N a více. Větší hodnoty platí převážně pro větší běžné transformátory.

1.4.6.3 Účinník nakrátko $\cos\varphi_k$

Tento účinník transformátoru nakrátko $\cos\varphi_k$ je většinou větší než účinník naprázdno $\cos\varphi_0$, a to 0,3 - 0,7 krát a více. Menší hodnoty $\cos\varphi_k$ platí pro větší transformátory, větší pro menší.

Před samotným měřením nakrátko je třeba na regulačním transformátoru nastavit nulové napětí. Sepnutím spínače Q se připojí měřený transformátor k regulačnímu transformátoru RT. Pomalým zvyšováním napětí na přívodu se nastaví střední hodnota proudu nakrátko I_{1k} , která se rovná proudu jmenovitému I_{1N} měřeného transformátoru. Při zapojení nakrátko je potřeba rychlé odečtení hodnot z měřících přístrojů (důvodem je rychle stoupající teplota vinutí vlivem protékajícího proudu). Na straně spojené nakrátko neměříme proud, impedance cívky ampérmetru by ovlivnila měření. Jeho velikost se dá určit z napájecího proudu I_{1k} a z převodu transformátoru p . [1], [5]

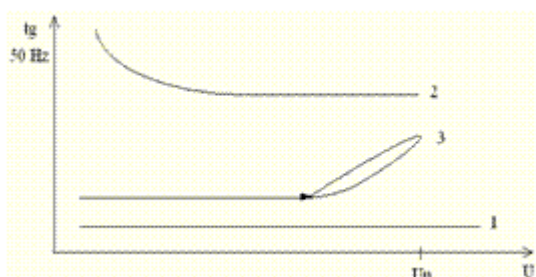


Obr. 1.14 Schéma zapojení při měření transformátoru nakrátko

1.4.7 Měření ztrátového činitele $\tan\delta$ a kapacity vinutí

Ztrátový činitel charakterizuje činné ztráty polarizací v izolaci, s jeho zvyšující se hodnotou se izolace více zahřívá a tím pádem rychleji stárne. Ztrátový činitel proto dává obraz o celkovém stavu izolace a z jeho hodnoty, která je ovlivněna pevnou i kapalnou částí dielektrika, lze indikovat, zda je izolační soustava zestárlá nebo navlhla. V některých případech reaguje také na vznik částečných výbojů.

Dielektrické ztráty stroje vyjadřované ztrátovým činitelem $\tan\delta$ se měří můstkovou metodou při střídavém napětí. Měření kapacity a ztrátového činitele se provádí střídavým napětím 10 kV. Pokud izolační hladina měřeného vinutí nevyhovuje tomuto napětí, je možné použít neblížejší nižší zkušební napětí a to z řady 0,5-1-2-5 kV. Měření kapacit a ztrátového činitele je značně citlivé na vliv parazitních vazeb s okolím, hlavně při měření transformátorů v provozu, protože jsou většinou v blízkosti dalšího zařízení vn a vvn pod napětím. Pokud naměřené hodnoty nevyhovují požadavkům, je třeba zkontrolovat další veličiny (napětí nakrátko, ss odpor vinutí, proud naprázdno). [5], [9]



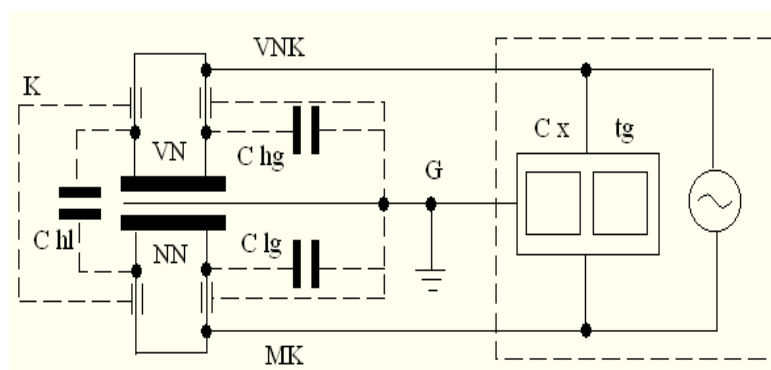
Obr. 1.15 Průběhy ztrátového činitele v závislosti na napětí

Legenda k obr. 1.15

1- kvalitní izolace, nenavlhnutá – nízký ztrátový činitel, nezávislý na hodnotě přiloženého napětí

2- navlhla izolace – poměrně vysoká a stabilní hodnota ztrát. Obsah vlhkosti v izolaci zapříčiňuje, při zvyšování napětí k poklesu ztrátového činitele

3- suchá a kvalitní izolace – při nízkých hodnotách nevykazuje na průběhu závažné změny. Při částečných výbojích dochází k nárůstu ztrátového činitele v tzv. „ionizačním koleně“



Legenda k obr. 1.16

VN – vinutí vyššího napětí

NN – vinutí nižšího napětí

K – kostra

VNK – vysokonapěťový přívod můstku

MK – měřicí přívod můstku

G – kostra můstku

C_{hg} – kapacita mezi vinutím VN a kostrou

C_{hl} – kapacita mezi vinutím VN a NN

C_{lg} – kapacita mezi vinutím NN a kostrou

C_x – měřená kapacita

Obr. 1.16 Zapojení při měření ztrátového činitele a kapacity

2. Diagnostika transformátorů

Z hlediska diagnostiky transformátoru by se metody používané k diagnostice mohly rozdělit do dvou skupin, a to testovací a tzv. provozní. Některé způsoby diagnostiky jsou zaměřeny přímo na součásti transformátoru (konstrukce, magnetický obvod, vinutí, izolace, chladicí kapalina...), jiné zase hodnotí celkový pohled na transformátor. Jako *provozní* (on-line) diagnostiku, lze označit způsoby, kdy se vyhodnocují informace, které vycházejí z transformátoru při běžném provozu a z naměřených provozních veličin (napětí, proudu, magnetického obvodu). Pro *testovací* (off-line) diagnostiku, potřebnou pro důkladnější a kvalitnější způsob získání informací o stavu funkčních uzlů transformátoru, je třeba mít transformátor odstaven mimo provoz

Nejčastější příčinou poruch na transformátorech bývá vada izolace, která může vést až k mezizávitovému zkratu, diagnostikou však lze tuto vadu odhalit včas. Dalšími poruchami mohou být následky různých vnějších vlivů a to především zkratů a přepětí. Tyto poruchy mohou vést až ke zničení transformátoru hned při jejich vzniku, diagnostikou v tomto případě zjišťujeme jen následky a z výsledků určíme další spolehlivost transformátoru. Výslednou spolehlivost ale také ovlivňuje způsob provozování a průběžná údržba. Chybná údržba nebo nevhodné provozní podmínky mohou snížit spolehlivost a podstatně zkrátit životnost transformátoru.[3]

2.1 Diagnostika olejových transformátorů

Pro určení stavu výkonového olejového transformátoru je možné využití výsledků z několika vhodně zvolených diagnostických metod např.: termovizní měření, měření elektrických vlastností – izolačního stavu a ztráty naprázdno (popsáno v kapitole 1.4 měření na transformátorech), zkouška rázovou vlnou, analýza transformátorového oleje, a další. V podmínkách povrchových dolů jsou nejčastěji používány jen některé z uvedených metod (analýza oleje, měření izolačních stavů, činných odporů vinutí, termovizní měření).

Analýza transformátorového oleje

SD a.s. mají v obou svých lokalitách (Bílina, Tušimice) Oddělení řízení a kontroly jakosti (OŘKJ) - vlastní laboratoře, kde se analyzují, kromě jiných, také vzorky transformátorových olejů odebraných z provozních transformátorů tab. 2.1.

Tab. 2.1 Analýza trafoolejů v laboratoři na DNT

Počet provedených analýz vzorků trafoolejů		
Rok	Počet vzorků	Počet analýz
2010	125	1500
2011	96	1116
2012	101	606
2013	71	852

ČSN 346432 se zabývá zkouškami elektrické pevnosti olejů před uvedením strojů a přístrojů s olejovou náplní do provozu. V provozu je nutno olej zkoušet v pravidelných obdobích, zda se jeho elektrické a chemické vlastnosti nezhoršily pod meze stanovené ČSN 656845. Délka období mezi zkouškami závisí na důležitosti zařízení, jeho provozních podmínkách, poruchovosti zařízení nebo sítě, do nichž je

zapojeno. Doporučený rozsah a stanovený pořádek všech úkonů je uveden ve směrnících pro údržbu, provoz a revize daného elektrického zařízení v tomto případě transformátoru.

Rychlost stárnutí izolačních olejů je ovlivněna především teplotou a katalyzátory. Zvýšení teploty o 8 – 10 K v oblasti provozní teploty, vede ke zdvojnásobení rychlosti stárnutí oleje.

Odebírání vzorků oleje

Olej by se z transformátoru měl odebírat při nízké relativní vlhkosti a malém znečištění okolního vzduchu.

Při odebírání vzorků:

- a) používají se pouze čisté (k odběru vzorků určené) láhve a potřebná výstroj
- b) očistí se vnější povrch ústí vypouštěcího ventilu a jeho blízké okolí
- c) před odebíráním vzorku se opláchne trubice a odstraní olej z ventilu na odebírání vzorků
- d) pomalu se naplní láhve na odebírání vzorků při minimálním styku se vzduchem

Měly by se především používat láhve se zabroušenou zátkou, které mají velmi dobrou těsnost. Samotný postup odběru vzorků a podmínek při odběru se řídí normou ČSN EN 60567.

Analýza transformátorového oleje v laboratoři

Elektrická pevnost

Elektrická pevnost je jeden z nejdůležitějších faktorů izolačních kapalin. Je ovlivněna obsahem vody, nečistot, produktů stárnutí a obsahu plynů v oleji. Elektrická pevnost ale hlavně ukazuje na stav vlhkosti, nikoliv jakosti oleje, protože i velmi zestárlý nenavlhlý olej, může mít elektrickou pevnost velkou. Elektrickou pevnost lze definovat jako poměr průrazného napětí vztaženého na vzdálenost zkušebních elektrod. Průrazné je nejmenší napětí, při kterém vznikne první výboj mezi elektrodami. Vlastní zkouška probíhá za rovnoměrného zvyšování napětí, tak aby k průrazu došlo mezi 10 – 20 sekundou. Měření opakujeme několikrát v pětiminutových intervalech. Z naměřených hodnot se provede aritmetický průměr průrazného napětí v kV, směrodatnou odchylku „s“ v kV a variační koeficient v %.



Obr. 2.1,2 - Přístroj BAUR DTA 100 (napětový průraz)

Bod vzplanutí, tuhnutí

Bod vzplanutí je důležitý z důvodu požární bezpečnosti. Je to teplota, kdy se směs par testovaného oleje se vzduchem po přiblížení otevřeného ohně vznítí, ale okamžitě zhasne. Pro zjištění této teploty se používá Pensky-Martensův přístroj (obr.2.3)

Bod tuhnutí je důležitá hodnota hlavně z hlediska spouštění transformátoru (po dlouhodobé odstávce). Určuje chování kapalných izolantů při nízkých teplotách. Je to teplota, při které olej tuhne a dochází v něm k vylučování a růstu krystalů. Zároveň roste viskozita a ubývá kapalná fáze. Před zjišťováním bodu tuhnutí musíme vzorek zahřívát 15 min na 50 °C. Po zahřátí se vzorek nalije do zkumavky a při postupném ochlazování se odečítá teplota a kontroluje se jeho tekutost. Teplota, při níž se vzorek při vodorovné poloze zkumavky 5 sekund nepohne, se označuje jako bod tuhnutí.



Obr. 2.3 - Pensky-Martensův přístroj

Obsah vody v oleji

Voda v oleji značně zhoršuje elektrickou pevnost izolačního oleje. Vlhkost vzniká oxidačním stárnutím při polykondenzačních reakcích nebo se do oleje dostává z atmosféry. Voda se v oleji vyskytuje ve třech formách: rozpuštěná, emulgovaná a volná. (obr.2.4).



Obr. 2.4 - Měřicí přístroj 831 KF Coulometer



Obr. 2.5 - Laboratorní analytické váhy (max. navážka 120 g)

Termovizní měření

Termovizní měření patří k novějším metodám preventivní údržby a všeobecně slouží ke zjišťování stavu strojů. Toto měření nám poskytuje viditelnou informaci o rozložení teplot na povrchu měřeného stroje nebo zařízení. Jde o měření, které se může provádět bez omezení plynulosti chodu zařízení, tedy za provozu a bez poškození diagnostikovaného stroje. Měření termovizní se dnes používá v mnoha oborech činností (stavebnictví, elektrotechnika, zabezpečení...), výhodou tohoto měření je zobrazení několika tisíc bodů a jejich vyhodnocení. Z toho vyplývá, že toto měření nahradí mnoho jiných měřících zařízení pro zjištění teploty.

V elektrotechnice se termovizní měření používá k vyhledání možných počínajících poruchových míst, v rámci prohlídky a údržby se měří například:

- transformovny včetně transformátorů (vinutí, nádoby transformátoru, připojovacích spojů atd.), vypínače, odpojovače, kabely a kabelové koncovky...
- teplota částí pod napětím
- proudové spoje na všech hladinách napětí
- teploty rozvaděčů
- venkovní a viditelné kabelové vedení VN, VVN
- oteplovací zkoušky vinutí strojů

Měření pomocí termovizních kamer tedy přispívá k:

- preventivní kontrole a údržbě – plánování odstávek, oprav
- diagnostice poruch a možných zničení strojů a zařízení
- uchování protokolů a možných digitálních záznamů pro pozdější porovnání
- včasné identifikaci možných závad
- možnosti bez přerušení chodu stroje měřit bezkontaktní metodou
- rychlému a snadnému měření

Po shrnutí těchto bodů je zřejmé, že touto preventivní činností, dochází ke snížení nákladů na údržbu zařízení, strojů a možné další větší opravy. Náklady na pořízení termovizních kamer se liší dle technických možností nastavení parametrů při měření.

Z termovizních kamer je k dispozici tzv. termograf (grafický záznam teplot vyzařujících z povrchu měřeného zařízení, stroje). Každá hodnota teploty má přiřazen určitý barevný odstín (nebo odstín šedi). Naměřené hodnoty a postupné sledování s možností porovnání archivovaných měření, je důležitým faktorem při rozhodování o stavu zařízení. Je doporučeno měřit za plného provozu a při maximálním zatížení (min. 50 %), snižuje se tak možnost zatížit měření určitou chybou nebo nepřesností.[9]

Příklady termovizního měření



Obr. 2.6.7.8 – Olejový transformátor 35/6/04 kV, rypadlo SchRs 1320

Hlavní olejový transformátor na skrývkovém rypadle SchRs 1320/4x30 – 35/6/04 kV, 6300 kVA. Termovizní měření provedeno za normálního provozu při těžbě skrývky, zatížení přibližně na 75 %, jako kontrola před krátkodobou odstávkou stroje. Samostatná rozvodna s transformátorem je vybavena klimatizační jednotkou. (Křížek v termografu je místo vyčíslené teploty).

Na snímcích termovizního měření je vidět nastavení parametru emisivity $\varepsilon = 1$. Emisivita je poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě absolutně černého se stejnou teplotou a určuje schopnost tělesa vyzařovat teplo. Maximální stupeň emisivity $\varepsilon = 1$ (100%), se ve skutečnosti nikdy nevyskytuje. Reálná tělesa mají $\varepsilon < 1$, poněvadž reálná tělesa záření odrážejí a případně předávají. V našem případě, při použití termovizní kamery Flir i60, která umožňuje nastavení parametru ε , lze považovat za chybné nastavení $\varepsilon = 1$ (termovizní kamery neumožňující nastavení parametru ε jej mají obvykle pevně nastavený na hodnotu 0,95). Dochází tím k nepřesné informaci o naměřené teplotě. Důležitým faktorem těchto měření (pro budoucí porovnání) je, aby probíhalo za „stejných podmínek“ tzn. v našem případě stejné zatížení transformátorů a stejné nastavení termovizní kamery.

2.2 Diagnostika suchých transformátorů

Diagnostika suchých, zalévaných transformátorů vychází především z měření elektrických veličin (měření izolačního stavu a ztráty naprázdno, zkouška rázovou vlnou). Dalším možným hodnocením stavu transformátoru jsou výsledky z termovizního měření. Jako chladivo je nejčastěji použito plynu a to především vzduchu. V případě, že není použito jiného plynu (např. SF₆ – fluorid sírový), samotní výrobci uvádějí, že je transformátor téměř bezúdržbový.



Obr. 2.9 – Zalévaný suchý transformátor

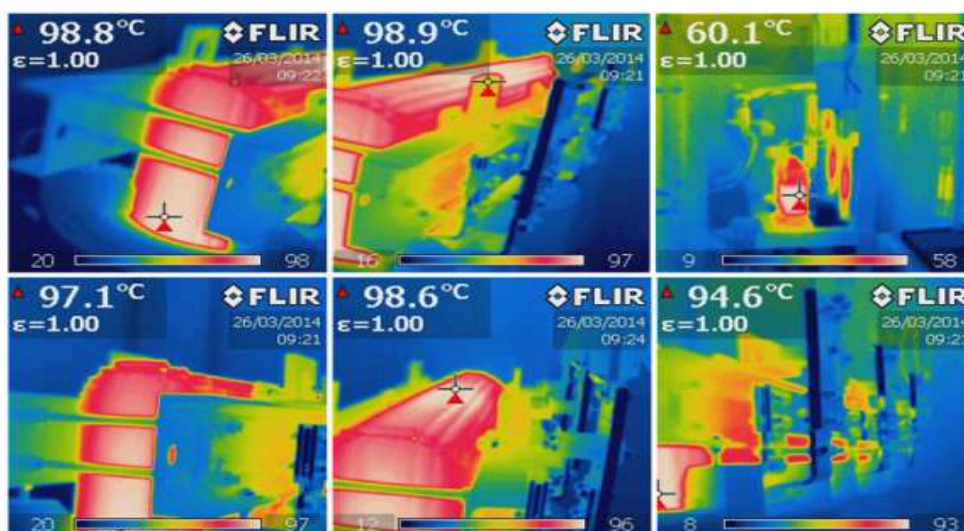
V rámci diagnostiky *off line* by se dala použít měření pro: činný odpor vinutí, kontrola sledu fází, fáze natočení - hodinový úhel, převod, napětí naprázdno, ztráty naprázdno, ztráty nakrátko a napětí nakrátko, nulová složka reaktance, měření izolačního odporu, určení polarizačního indexu a časové konstanty transformátoru, měření ztrátového činitele $\tan \delta$ a kapacity vinutí, poměr kapacit C_2/C_{50} , zkouška přiloženým střídavým výdržným napětím, zkouška indukovaným výdržným napětím (některá tato měření byla popsána v kapitole 1.4. měření na transformátorech). Opět, stejně jako u olejových transformátorů, v podmínkách povrchových dolů, lze využít jen základní měření.

On line diagnostika zahrnuje především: měření napětí a proudů (odečítáno z elektronických ochran), měření teplot (včetně měření teploty prostoru umístění transformátoru).

Příklady termovizního měření



Obr. 2.10, 11 – Suchý transformátor 6/04 kV na velkstroji SchRs 1320



Obr. 2.12 – Suchý transformátor 6/04 kV na velkstroji SchRs 1320

Suchý transformátor 6/0,4 kV, 2000 kVA sloužící k napájení jedné ze tří tzv. staveb skřývkového rypadla SchRs 1320/4x30 a jeho termovizní měření (obr. 2.10,11,12), rypadlo při těžbě skřývky, zatížení transformátoru přibližně 80 %. Křížek v termografu je místo vyčíslené teploty.

Rozvodna, kde je umístěný jmenovaný transformátor, není vybavena klimatizační jednotkou ale nuceným odvětráním s filtrem vzduchu.

3. Údržba transformátorů

Na spolehlivost a průběh výrobních procesů v každé průmyslové nebo energetické společnosti má značný vliv údržba všech strojních zařízení. Kvalitativní úroveň údržby základních prostředků není jen záležitostí technickou a technologickou, ale předně také problémem ekonomickým. Udržovat zařízení výroby v dobrém technickém stavu, provozuschopnosti a zachování jeho funkčních vlastností při nejlepších ekonomických nákladech, je *cílem* údržby. *Úkolem* údržby je vyloučit možné poruchy, které způsobují postupné degradační procesy. Údržba zařízení znamená odstraňovat nebo oddalovat postupné degradační procesy, což přispívá k zachování původních vlastností a funkčnosti strojů a zařízení.

Činnost údržby lze posuzovat z několika hledisek. Prvním, důležitým faktorem je zajištění bezpečnosti při provozu elektrického zařízení, bezpečnosti osob a majetku a také dodržování ekologických zásad. Dalším, a v poslední době „hlavním“ faktorem posuzování činnosti údržby zařízení, jsou finance. Údržba, je soubor činností, který zahrnuje např. pracovní síly, pracovní pomůcky, náhradní díly, měřicí zařízení, strojovou techniku atd. a projevuje se, jako spotřebič finančních prostředků, což se negativně promítá do zisku z provozovaného zařízení. Snahou je tedy určit postup údržbářských činností a péči o zařízení takové způsoby, které berou ohled na celkovou efektivnost výroby. Důležitým faktorem je kvalita údržbářských provozů, kde se promítá kvalifikovanost pracovníků, zvládnutí vyhodnocení diagnostických metod, zásoby (dostupnost) kvalitních náhradních dílů, dokumentace zařízení atd. Z tohoto hlediska lze zvažovat, zda si ponechat nebo zřídit vlastní údržbářské provozy nebo zvolit možnost externích firem, nabízejících podobnou údržbářskou činnost.

Pro vlastní údržbu hovoří především dokonalá znalost zařízení výroby, jeho poruchovosti apod. V SD se používá vlastních údržbářských a obslužných provozů, které zvládají drobné opravy zařízení, nutné k bezpečnému a bezporuchovému chodu strojů a zařízení. V případě nutnosti větších poruch, oprav a revizí, se najímají externí firmy.[9]

3.1 Údržba olejových transformátorů velkých rozvodů

3.1.1 Údržba provozní (transformátor je pod napětím a v provozním stavu)

K povinnostem obsluhy hlavní rozvodny („rozvodného“), pracující v nepřetržitém provozu, patří při denní prohlídce objektu rozvodny kontrolovat u transformátorů:

- vnější prohlídka transformátorů za provozu
- kontrola prostoru umístění transformátorů a přilehlých ploch
- kontroluje se stav olejů v konzervátorech
- zda nekape olej
- teplotu transformátorů
- průchodky (známky výbojů, prach a špína, praskliny, olejové skvrny, koróze)
- zda transformátory abnormálně nehlučí (zvukové emise)
- funkce chlazení u transformátorů (hlučnost ventilátorů apod.)
- připojení kabelů, ochran proti přepětí a zkratům, pracovní a ochranné zemnění
- zaznamenat naměřené hodnoty
- stav pomocného zařízení

Vizuální kontroly se musí provádět v intervalech, stanovených místními předpisy.

Při vizuální kontrole se musí dodržovat bezpečnostní předpisy a pracovní postupy. Výsledky kontrol se zaznamenávají do Knihy kontrol elektrického zařízení.[10]

Kontroly transformátorů, které jsou součástí Distribučních transformoven umístěných v prostoru lomů, se provádějí jednou týdně pracovníky údržby trafostanice. Rozsah kontroly je v podstatě shodný s kontrolou transformátorů umístěných v hlavních transformovnách na DNT. Zápis o výsledku kontroly se provádí do Knihy kontrol DT, která je součástí vybavení a je umístěna v rozvodně na DT.

3.1.2 Údržba při odstávce (*transformátor bez napětí*)

Zde je nutno připomenout, že v podniku se pracuje v nepřetržitém provozu a odstávka dodávky elektrické energie musí být předem plánovaná (omezení těžby, bez napětí lze provádět jen omezené práce v rámci údržby strojů a velkstrojů, plánovaný odběr elektrické energie apod.). Tuto údržbu si provádějí zaměstnanci údržby trafostanice sami. Je snahou plánovat tento typ údržby na dny různých státních svátků.

Postup, samozřejmě po dodržení všech bezpečnostních předpisů a nařízení, je následující:

- důkladná kontrola stavu olejetěsnosti transformátoru
- kontrola funkce přepojovače odboček (pokud jde o transformátory, které mají přepojovače)
- kontrola dotažení všech šroubových spojů (některé mají předepsaný moment dotažení)
- očista průchodek a omytí nádoby a víka transformátoru
- odběr a zkouška izolační kapaliny
- kontrola výšky hladiny oleje v dilatační nádobě, popř. dolití a očista nádoby
- kontrola uzemnění transformátorů
- zkouška funkčnosti teploměru, Buchholzova relé
- kontrola (popř. výměna, vysušení) náplně silikagelu
- měření izolačního odporu: izolační odpor se měří při teplotě okolí $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro měření se používá měřicí přístroj Megger MIT 510/2 a měří se napětím 5000 V. Z tohoto měření se vypracuje přehledný protokol.

Měření izolačního odporu patří mezi nejstarší metody ověřování stavu izolační soustavy transformátoru. Izolační odpor se měří stejnosměrným napětím s napětíovou hladinou v rozmezí 1 – 5 kV, norma ČSN 35 1090 doporučuje hodnotu napětí 2,5 kV. Velikost izolačního odporu je velmi teplotně závislá veličina (s rostoucí teplotou klesá), a proto je velmi závislá na podmínkách při měření. Teplotní závislost izolačního odporu se snažíme částečně eliminovat výpočtem teploty stroje ze stejnosměrného odporu vinutí. Na přesnost měření může mít velký vliv výběr použitých přístrojů.

Velikost izolačního odporu je jedním z prvních signálů, který nás upozorňuje na fakt, že izolace může být navlhla nebo provozně poškozena. Zmenšení hodnoty izolačního odporu izolační soustavy ukazuje na zhoršení stavu, to však nemusí ohrožovat provoz stroje, a naopak neznamená, že velký izolační odpor je zárukou její kvality. Proto je rozhodnutí o stavu izolace podle hodnoty izolačního odporu v praxi možné pouze tehdy, jsou-li záznamy o výsledcích z předchozích měření, pak teprve můžeme porovnat, o jak velké změny izolačního odporu se jedná. V praxi se pro vyhodnocení izolačního stavu využívá pravidla, které bylo stanoveno normou ČSN 35 108, kde 1 kV odpovídá 1 MΩ u provozovaných strojů a u nových strojů 1 kV odpovídají 3 MΩ.[2]

Na obr. 3.1 je transformátor 35/6 kV, 6300 kVA (umístěný jako součást distribuční trafostanice DT 65 obr. 1.5), v rámci roční prohlídky a možnosti mít transformátor bez napětí, dochází k výměně nn kabelů pro napájení obvodů snímačů, dále pak k měření a čištění.



Obr. 3.1 – Transformátor 35/6 kV, 6300kVA jako součást trafostanice typu DT

3.2 Údržba transformátorů na velkostrojích

3.2.1 Údržba provozní

K osádce velkostrojů, které jsou součástí TC, patří také provozní elektrikář velkostroje. K jeho povinnostem, v rámci směny, patří provozní prohlídka elektrického zařízení, včetně všech transformátorů umístěných na velkostroji, olejových i suchých. Při vizuální kontrole se zaměřuje na:

- kontrola prostoru umístění transformátorů a přilehlých ploch, na velkostrojích jsou transformátory umístěné v rozvodnách, takže se kontroluje také funkčnost všech filtračních zařízení, odvětrání a také klimatizačních jednotek, dále se kontroluje upevnění transformátorů ke konstrukci (na velkostrojích dochází k vibracím a houpání celého stroje)
- funkce chlazení u transformátorů (hlučnost ventilátorů apod.)
- kontroluje se stav olejů v konzervátorech u olejových transformátorů (zda nekape olej)
- teplotu transformátorů
- průchodky (známky výbojů, prach a špína, praskliny, olejové skvrny, koróza)
- zda transformátory abnormálně nehlučí
- připojení kabelů, ochran proti přepětí a zkratům, pracovní a ochranné zemnění
- stav pomocného zařízení

Při vizuální kontrole se musí dodržovat bezpečnostní předpisy a pracovní postupy určené k provozu a údržbě velkostroje. Výsledky kontrol se zaznamenávají do Knihy kontrol elektrického zařízení velkostroje (v tomto případě jako jeden bod „Vizuální kontrola transformátorů“).[4]

3.2.2 Údržba při odstávce

Minimální interval pro tento typ údržby je 1x ročně, v případě většího znečištění je nutné interval zkrátit, samozřejmě s ohledem na možnosti nepřetržitého provozu stroje. Četnost údržby tedy závisí do značné míry na pracovním prostředí. Údržba by měla zahrnovat mimo jiné následující body :

- očištění všech ploch, zejména vodivých částí, suchým hadrem a průmyslovým vysavačem. Nedoporučuje se používat vysokotlaký vzduch k odfukování prachu.
- vyčistit všechny ventilační otvory, popřípadě vyměnit vzduchové filtry a zkontrolovat volný průchod chladicího vzduchu, zkontrolovat provozní nastavení a správnou funkci chladících ventilátorů (jsou-li použity)
- zkontrolovat a případně dotáhnout všechny šroubové spoje (dle hodnot utahovacích momentů)
- zkontrolovat provozní nastavení a správnou funkci všech ochran
- zkontrolovat provozní nastavení a správnou funkci chladících ventilátorů (jsou-li použity)
- kontrola izolačních stavů měřením
- o provedené kontrole se sepíše protokol



Obr. 3.2 – Umístění vstupního transformátoru na zakladači ZPDH 6300



Obr. 3.3 – Kontrola beznapěťového stavu vstupního transformátoru na zakladači ZPDH 6300, dotažení spojů, čištění

Obrázky 3.2 a 3.4 ukazují typický příklad prašnosti na povrchových dolech.



Obr. 3.4 – Znečištění vstupního transformátoru na zakladači ZPDH 6300



Obr. 3.5 Umístění transformátorů na velkstroji Typu KU 800



Obr. 3.6 Havárie - ulomený jeřáb (rozvodna s transformátory)

V případě suchých, zalévaných transformátorů a jejich údržby a kontroly, lze konstatovat, že samotní výrobci uvádějí v návodech k obsluze transformátorů, že jsou v podstatě bezúdržbové. Jako příklad bych uvedl ukázkou z návodu o provozu transformátoru f. SGB, a jejich doporučení údržby tab. 3.1.

„Transformátory zalité v pryskyřici jsou do značné míry bezúdržbové“. [příloha obr. 10]

Tab. 3.1 - Příklad návodu kontroly a údržby transformátorů f. SGB od dodavatele

	Kontrola Údržba	Časový interval	Nástroje	Výsledek
1	Funkce teplotních senzorů	Ročně/ v případě potřeby	Zkoušečka	Elektrická stálost
2	Monitorovací jednotka	Měsíčně/ po vyjímání stavech		Kontrola funkce dle instrukcí
3	Čištění od prachu a nečistot	Každých 6 měsíců je li transformátor odpojen	Čistý suchý stlačený vzduch, tlak max. 3atm. Čistý suchý hadr	Ventilační otvory mezi vinutími musí být důkladně vyčištěné a nezakryté
4	Vlhkost na vinutí	Před připojením/ po dlouhodobém odpojení	Metodou ohřevu ve zkratovaném ohřevu	Vysoušení při 80°C
5	Utažení šroubů VN, NN vývodů	Ročně/ v případě potřeby	Momentový klíč	Utahovací momenty dle návodu
6	Izolace mezi vinutími a zemí	Před připojením, po dlouhodobém odpojení	Mega-ohmmetr (Megger) s napětím nad 1 kV	NN proti zemi: min. 5 MΩ VN proti zemi: min.20 MΩ VN proti NN: min. 20 MΩ Jeli hodnota nižší kontaktovat dodavatele
7	Opravit pozici/ upevnění podpěrek NN a VN vinutí	Po výjimečných stavech (rázy, zkrat, atd.)	Metr	Geometrické vyrovnání vinutí
8	Opravit pozici/ upevnění podpěrek vinutí	Po výjimečných stavech (rázy, zkrat, atd.)	Momentový klíč	Utahovací moment 20-40Nm

4. Praktická aplikace diagnostických metod

O důležitosti údržby a kontroly elektrického zařízení již bylo psáno v předešlých kapitolách.

V rámci pravidelné kontroly pracovníků obsluhy trafostanice TR 3 v Málkově (která je jedním ze dvou možných napájecích míst naší LDS na Severočeských dolech v lokalitě Tušimice), bylo detekováno (poslechem za nepříznivých klimatických podmínek) sršení průchodky na jednom ze dvou hlavních transformátorů T 101 typu 8ERH 33M-0. Pouhým poslechem nebylo možno detekovat, zda se jedná o průchodku na primární či sekundární straně 110/35 kV. Po rychlém vyhodnocení nastalé situace bylo rozhodnuto o nutnosti provést diagnostiku průchodek na tomto transformátoru. Jelikož tento transformátor je v provozu 365 dní v roce, přistoupilo se k důkladné revizi celého tohoto transformátoru a výměně poškozené průchodky. Protože transformátor T101 (40MW) je hlavním napájecím prvkem na rozvodně TR3 v Málkově jak je vidět na obrázku (příloha obr. 2), bylo nutné převést část napájení na rozvodnu TR2 v Tušimicích (zde jsou v provozu dva transformátory 25MW).

Před začátkem revize bylo nutno provést elektrické měření na transformátoru a diagnostika oleje:

- Elektrické měření na transformátoru T101 (viz. tab. 4.1)

1. U_m (ss, stf)
2. R_{iz} (15, 60)
3. C
4. τ
5. tg

- Diagnostika oleje (viz. tab. 4.6)

1. U_{p1-6} , U_p
2. s
3. V
4. Q_v
5. $\check{C}K$
6. $tg\delta_{20, 70, 90}$
7. $\varepsilon_{r20, 70, 90}$
8. $\rho_{20, 70, 90}$
9. σ
10. ρ_v
11. Q_i

(Popis některých způsobů diagnostiky transformátorového oleje je popsán v kapitole 2.1)

Po vyhodnocení elektrického měření a diagnostiky inhibitovaného oleje jsme se rozhodli pro opravu na transformátoru T101 v rozsahu prací:

1. Očištění a odmaštění transformátoru
2. Kontrola olejotěsnosti svarů na nádobě transformátoru – případná oprava
3. Vyčerpání olejové náplně z transformátoru do cisterny zajištěné zhotovitelem; vyčerpání olejové náplně výkonového přepínače do sudů
4. Odpojení ovládací skříně od kabeláže po transformátoru a ponechání u přívodů (stavba lešení zhotovitele), odpojení uzemnění a posunutí transformátoru ke kraji kolejnic (transformátor není na kolečkách)
5. Demontáž konzervátoru transformátoru i výkonového přepínače – zaslepení otvorů

6. Demontáž a revize regulace transformátoru

7. Revize výkonového přepínače

- ověření chodu
- vypuštění původní olejové náplně
- demontáž vložky výkonového přepínače
- kontrola pracovních a opalovacích kontaktů - oprava
- kontrola a měření zhášecích odporů přepínače
- kontrola mechanismu střadače
- vyčištění válce výkonového přepínače od nečistot ze starého oleje
- přetěsnění potrubí od výkonového přepínače a výměna kohoutu DN 25
- přetěsnění a funkční zkouška BR
- přetěsnění a kontrola činnosti olejovému konzervátoru regulace
- přetěsnění vypouštěcího potrubí výkonového přepínače a výměna kohoutu 3/4"
- výměna olejové náplně ve výkonovém přepínači (dodaný dodavatelem)
- zpětná montáž výkonového přepínače
- přetěsnění víka výkonového přepínače
- seřízení chodu výkon. přepínače s voličem odboček a motor. pohonem
- kontrola správné funkce regulace na všech odbočkách

8. Revize voliče s výměnou mechanických převodů po demontáži zvonové nádoby transformátoru

- demontáž převodového uložení a hnací hřídele
- demontáž příruby voliče
- prohlídka všech pevných a pohyblivých kontaktů na voliči
- kontrola tlaků na kontaktech včetně jejich očištění
- dotažení připojovacích lan
- přetěsnění válce
- přetěsnění stavěcích šroubů
- výměna těsnění pod přírubou
- montáž nového převodníku s číselníkem (výměna hřídele, těsnění a ložisek)
- montáž příruby a hřídele
- montáž dopředu opraveného převodového uložení (těsnění a ložiska)"
- seřízení chodu výkonového přepínače s voličem odboček
- seřízení chodu s motorovým pohonem
- kontrola správné funkce regulace na všech odbočkách
- kontrola, přetěsnění a vyčištění potrubí a tlakového relé
- výměna ventilů a olejovému
- kontrolní měření převodů a izolačních stavů

9. Revize motorového pohonu

- ověření chodu pohonu
- vyčištění skříně.
- kontrola spínací vačky
- kontrola všech elektrických přístrojů

- kontrola svorkovnice
 - promazání mechanických převodů
10. Demontáž průchodek 110, 35 i 6,3 kV – zaslepení otvorů na nádobě; změření elektrických vlastností průchodek
 - změření elektrických vlastností demontovaných průchodek ze stroje
 - pokud budou průchodky vadné je nutné je vyměnit
 11. Demontáž radiátorů i rozvodného potrubí včetně kolen – uzavření klapek a zaslepení radiátorů
 12. Povolení dělicí roviny a demontáž měřících transformátorů
 13. Demontáž zvonové nádoby z transformátoru
 14. Vnitřní prohlídka transformátoru – kontrola vinutí, staveb, stavu izolací spojení i vývodů, odebrání vzorku celulózové izolace pro stanovení PPS, dotažení vinutí – případné opravy vadných částí (případná oprava izolace, doplnění staveb)
 15. Kontrola řadiče – kontaktů a přesnosti najíždění kontaktů – regulace stroje; případné přetěsnění kontaktů v izolačním válci výkonového přepínače
 16. Zhotovení nového těsnění dělicí roviny stroje, nového těsnění mezi regulací a zvonovou nádobu transformátoru
 17. Usazení zvonové nádoby, dotažení dělicí roviny stroje, přitažení regulace ke zvonové nádobě
 18. Demontáž velkého šoupěte z vany nádoby a zaslepení; kontrola klapek na nádobě stroje a jejich dotěsnění (hřídelek); montáž nových přírubových kulových kohoutů
 19. Povrchová úprava nádoby – plochy zakryté namontovanými radiátory
 20. Očištění a přetěsnění měřících transformátorů, jejich zpětná montáž na transformátor
 21. Zpětná montáž kolen a rozvodného potrubí oleje přes nová těsnění na nádobu transformátoru
 22. Montáž očištěných, přetěsněných (výpustné a odvodušňovací šrouby) a povrchově upravených radiátorů zpět na nádobu transformátoru přes nová těsnění
 23. Zpětná montáž očištěných původních průchodek zpět na stroj přes nová těsnění
 24. Přetěsnění konzervátoru (stavoznaky, zaslepení výpusti ...) a jeho zpětná montáž na transformátor
 25. Očištění, přetěsnění a odzkoušení funkčnosti BR transformátoru
 26. Montáž propojovacího potrubí včetně nového přírubového kulového kohoutu a revidovaného původního BR přes nová těsnění
 27. Zatažení transformátoru na původní pracovní pozici a zajištění proti samovolnému posunu
 28. Naplnění transformátoru původním trafoolejem přes filtrační zařízení zhotovitele – doplnění chybějícího oleje (zajistí zhotovitel)
 29. Montáž ofukování radiátorů oprava stávajících. Neopravitelné/chybějící se nahradí za nové
 30. Sušení transformátoru metodou LF za současné filtrace olejové náplně v transformátoru
 31. Úprava – regenerace olejové náplně v transformátoru
 32. Zpětná montáž rozvaděče na nádobu transformátoru, zhotovení nové elektroinstalace po nádobě transformátoru, odzkoušení funkčnosti BR, montáž nového teploměru (teploměr dodá dodavatel), motorového pohonu
 33. Elektrická měření a analýza oleje transformátoru po ukončení prací
 34. Elektrická měření po ukončení prací v rozsahu R_{iz} , C, tg, ohm. odpory ve všech odbočkách
 - Během prací odběr vzorku a stanovení PPS
 - po úpravě oleje ve stroji odběr vzorků oleje a provedení rozborů v rozsahu KR; DGAo; Furany; PCB
 35. Povrchová úprava transformátoru.

- ruční odmaštění a dočištění nádoby transformátoru, radiátorů, konzervátorů a všeho ostatního příslušenství
 - provedení nátěru transformátoru, konzervátoru a veškerého příslušenství stroje - stříbrný odstín
36. Silové připojení transformátoru na průchodkách

Technické zajištění

Opravu v takovémto rozsahu nejsme schopni provést vlastními silami, pracovníky údržby rozvodny, rozhodli jsme se proto pro opravu externí společností dle mnou vyhotoveného zadání.

Důležitým faktorem bylo provádět veškeré práce na transformátoru T101 na jeho stanovišti v areálu rozvodny TR3 - Málkov. Práce byly prováděny pracovníky s patřičnou kvalifikací a s praxí v oboru.

Po provedeném výběru dodavatele a dohodě obou firem o rozsahu požadovaných prací a podepsání patřičných smluv bylo přistoupeno k samotné revizi, opravě a důkladné kontrole transformátoru.



Obr. 4.1 – Umístění transformátoru 8ERH33M v prostoru transformovny TR3 před začátkem opravy

Po odpojení všech silových i ovládacích vodičů a uzemnění transformátoru a tlumivky se přistouplilo ke změření izolačních stavů, očištění a odmaštění, dále pak k vypuštění olejové náplně a konzervátoru, výkonového přepínače, všech průchodek (110, 35, 6,3 kV).

Při měření izolačního stavu průchodek transformátoru, byla zjištěna vadná průchodka na straně 35 kV.

Bylo tedy rozhodnuto o výměně všech průchodek na straně nižšího napětí transformátoru.

Po demontáži ofukování a těles radiátorů i rozvodného potrubí, se mohlo začít s povolením dělicí roviny a vyzvednutí zvonové nádoby transformátoru.



Obr. 4.2 – Zvedání víka transformátoru



Obr. 4.3 – Příprava na vnitřní kontrolu transformátoru

Vnitřní kontrola transformátoru se zaměřila na kontrolu vinutí, staveb, stavu izolací spojení i vývodů, odebrání vzorku celulózové izolace pro stanovení PPS, dotažení vinutí – případné opravy vadných částí (přeizolování, doplnění staveb ...).



Obr. 4.4 – Vnitřní prostory transformátoru při kontrole



Obr. 4.5 – Kontrola vinutí a stavu izolací



Obr. 4.6 – Přepínač odboček transformátoru

Po vytažení přepínače odboček z transformátoru a zjištění že je znečištěn silnou vrstvou kalů, bylo rozhodnuto o převozu do prostoru dílen k důkladnému očištění a revizi přepínače.



Obr. 4.7 – Volič transformátoru

Při kontrole dotažení všech šroubových spojů vodičů, byl zjištěn napálený kontakt voliče, který musel být opraven.

Fáze provedených prací na opravě a revizi transformátoru se dá shrnout do těchto bodů:

- Měření před revizí a opravou transformátoru
- Oprava a revize primární a sekundární strany transformátoru
- Oprava a revize regulace transformátoru
- Oprava a revize nádoby a elektrického příslušenství transformátoru
- Sušení transformátoru metodou LF za současné filtrace a regenerace olejové náplně v transformátoru
- Měření po revizi a opravě transformátoru

Metoda sušení LF + regenerace oleje

Při provozu olejových transformátorů dochází k vlhnutí jeho izolačního systému. Voda obsažená v tomto systému transformátoru pak:

- snižuje elektrickou pevnost izolací
- je zdrojem kyslíku a ten pak je příčinou oxidace izolačního systému což způsobí zkrácení jeho životnosti

Sušení izolací metodou LF bylo zvoleno z důvodu nepříznivých klimatických podmínek a možnosti současné regenerace transformátorového oleje přímo na pozici pomocí mobilního zařízení.

Sušení pevných izolací olejových transformátorů metodou LF (Low Frequency, nebo také NF – nízká frekvence) vychází z principu dodat teplo izolacím z vinutí. LF zdroje dodávají do vinutí až 300 A při frekvenci 0,5 Hz a napětí 400 V. Transformátor se na straně nižšího napětí spojí nakrátko a napájí se strana vyššího napětí. Izolační systém zůstává, ve svém přirozeném prostředí tzn. pod olejem. Součinnost LF zdroje spolu s regeneračním zařízením pak udržuje vhodné teplotní spády.

V neposlední řadě bylo přistoupeno k montáži nových průchodek VVN:

- montáž nových průchodek – úprava Cu svorníků a vývodů
- otevření ventilu mezi nádobou a konzervátorem transformátoru; doplnění transformátoru odpuštěným olejem
- odvzdušnění nových průchodek a celého transformátoru

- změření izolačních stavů VVN a připojení na průchodkách VVN
- předání transformátoru provozovateli k uvedení do provozu

Po provedení všech závěrečných zkoušek, bylo povoleno transformátor uvést do provozu bez zátěže na dobu nejméně 12 hodin. Po uplynutí této doby byl povolen další bezpečný provoz transformátoru.

4.1 Měření transformátoru 8ERH33M (110/35/6,3 kV, 40MVA) na rozvodně v LDS Dolu Nástup Tušimice.

4.1.1 Měření izolační soustavy před revizí a opravou transformátoru

Datum měření: 9.7.2013
Teplota stroje: 22°/11°C, instalovaný teploměr/ ohřev od oleje
Teplota okolí: 13°C, relativní vlhkost okolí: 53%

Tab. 4.1 - Měření izolační soustavy před opravou transformátoru

Zapojení	U_m (kV_{ss})	R_{iz15} ($M\Omega$)	R_{iz60} ($M\Omega$)	P_{i60}	U_m (kV_{stp})	C (pF)	τ (s)	$tg\delta$ ($\times 10^{-2}$)
V: (S+N)	-----	-----	-----	-----	10	8399	-----	0,48
V: (S+N+k)	2,5	427	816	1,95°	10	12380	10,1°	0,62
V: (k)	-----	-----	-----	-----	10	3979	-----	0,91
S: (V+N)	-----	-----	-----	-----	10	19575	-----	0,48
S: (V+N+k)	2,5	383	1270	3,32°	10	20720	26,3°	0,49
S: (k)	-----	-----	-----	-----	10	1149	-----	1
N: (V+S)	-----	-----	-----	-----	5	11555	-----	0,48
N: (V+S+k)	2,5	445	895	2,01°	5	20920	18,7°	0,5
N: (k)	-----	-----	-----	-----	5	9373	-----	0,51
(V+S):N	-----	-----	-----	-----	10	11555	-----	0,47
(V+S):(N+k)	2,5	327	639	1,95°	10	16680	10,7°	0,6
(V+S):k	-----	-----	-----	-----	10	5130	-----	0,92
(V+S+N):k	2,5	328	546	1,66°	5	14495	7,9°	0,64
(V+N):(S+k)								
(S+N):(V+k)								

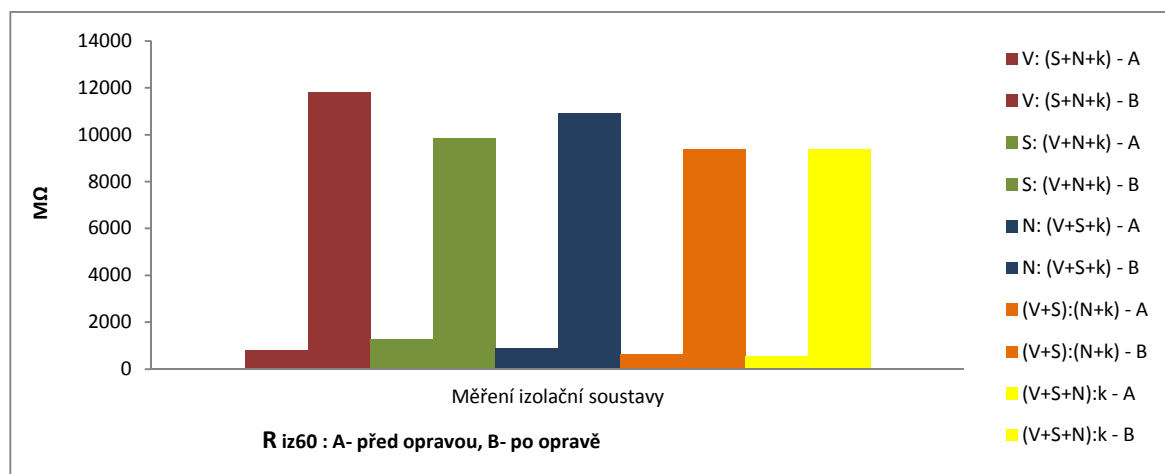
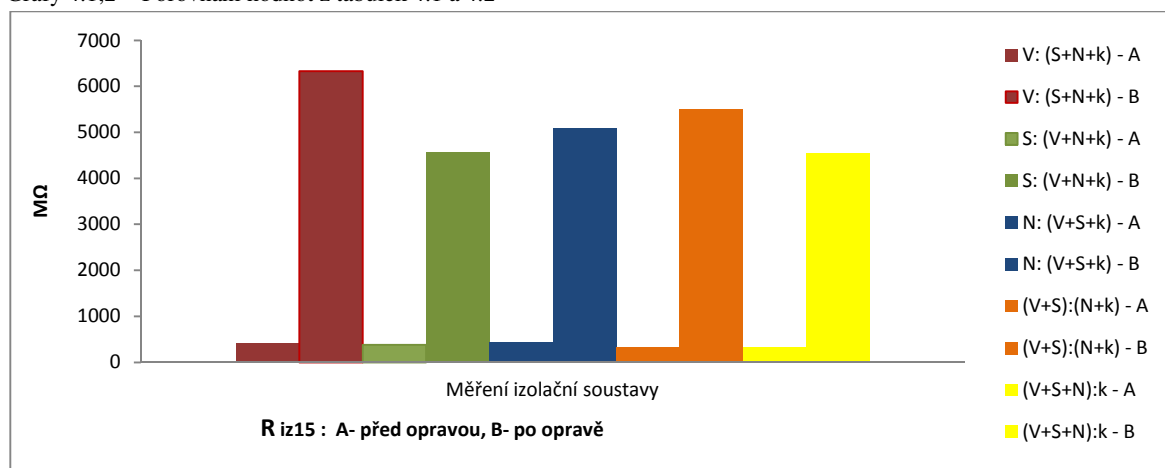
4.1.2 Měření izolační soustavy po revizi a opravě transformátoru

Datum měření: 12.11.2013
Teplota stroje: 22°/11°C, instalovaný teploměr/ ohřev od oleje
Teplota okolí: 13°C, relativní vlhkost okolí: 53%

Tab. 4.2 - Měření izolační soustavy po opravě transformátoru

Zapojení	U_m (kV _{stř})	R_{iz15} (MΩ)	R_{iz60} (MΩ)	p_{i60}	U_m (kV _{stř})	C (pF)	τ (s)	$tg\delta$ ($\times 10^{-2}$)
V: (S+N)	-----	-----	-----	-----	10	8388		0,33
V: (S+N+k)	2,5	6330	11800	1,86°	10	12375	146,0°	0,46
V: (k)	-----	-----	-----	-----	10	3986		0,74
S: (V+N)	-----	-----	-----	-----	10	19560		0,32
S: (V+N+k)	2,5	4570	9850	2,16°	10	20705	203,9°	0,35
S: (k)	-----	-----	-----	-----	10	1141		0,85
N: (V+S)	-----	-----	-----	-----	5	11555		0,32
N: (V+S+k)	2,5	5100	10900	2,14°	5	20955	228,4°	0,35
N: (k)	-----	-----	-----	-----	5	9398		0,36
(V+S):N	-----	-----	-----	-----	10	11555		0,32
(V+S):(N+k)	2,5	5500	9370	1,70°	10	16680	156,3°	0,46
(V+S):k	-----	-----	-----	-----	10	5128		0,76
(V+S+N):k	2,5	4540	9360	2,06°	5	14525	136,0°	0,50
(V+N):(S+k)	2,5	3420	6600	1,93°				
(S+N):(V+k)	2,5	5480	9300	1,70°				

Grafy 4.1,2 - Porovnání hodnot z tabulek 4.1 a 4.2



Z těchto porovnávacích grafů zcela zřetelně vyplývá, k jak velkému zlepšení vlastností izolační soustavy, po dokončení revize a opravy transformátoru, došlo. Stav vinutí vyhovuje (parametry: izolační odpor,

ztrátový činitel) pro uvedení stroje do provozu. Hodnoty kapacit jsou shodné s měřením před a po opravě, což ukazuje na nezměněnou geometrii stroje. (Postup měření je popsán v kapitole 1.4.2)



Obr. 4.8,9 – Měřicí zařízení - umístěné v pojízdné laboratoři

4.1.3 Měření odporu vinutí ss. proudem před revizí a opravou transformátoru

Datum měření: 9.7.2013
Teplota stroje: 22°/11°C, instalovaný teploměr/ ohřev od oleje
Teplota okolí: 13°C, relativní vlhkost okolí: 53%

Tab. 4.3 - Měření odporu vinutí ss. proudem před revizí a opravou transformátoru

Odbočka	<i>R_{vin} - (Ω) měřeno mezi vývodu</i>					
	<i>U-N</i>	<i>V-N</i>	<i>W-N</i>	<i>U-V</i>	<i>V-W</i>	<i>U-W</i>
1	0,448951	0,445175	0,44773			
2	0,462251	0,45804	0,462672			
3	0,473006	0,469151	0,475683			
4	0,489328	0,482433	0,4874			
5	0,49898	0,495616	0,49583			
6	0,50913	0,509194	0,509673			
7	0,520561	0,520463	0,522469			
8	0,536347	0,533088	0,534125			
11	0,543319	0,552973	0,537891			
12	0,553768	0,564668	0,549059			
13	0,568739	0,580583	0,560424			
14	0,574062	0,587282	0,576145			
15	0,589116	0,597141	0,585029			
16	0,601913	0,606966	0,598723			
17	0,616627	0,616924	0,613133			
18	0,62878	0,634571	0,62407			
19	0,638295	0,643269	0,636266			

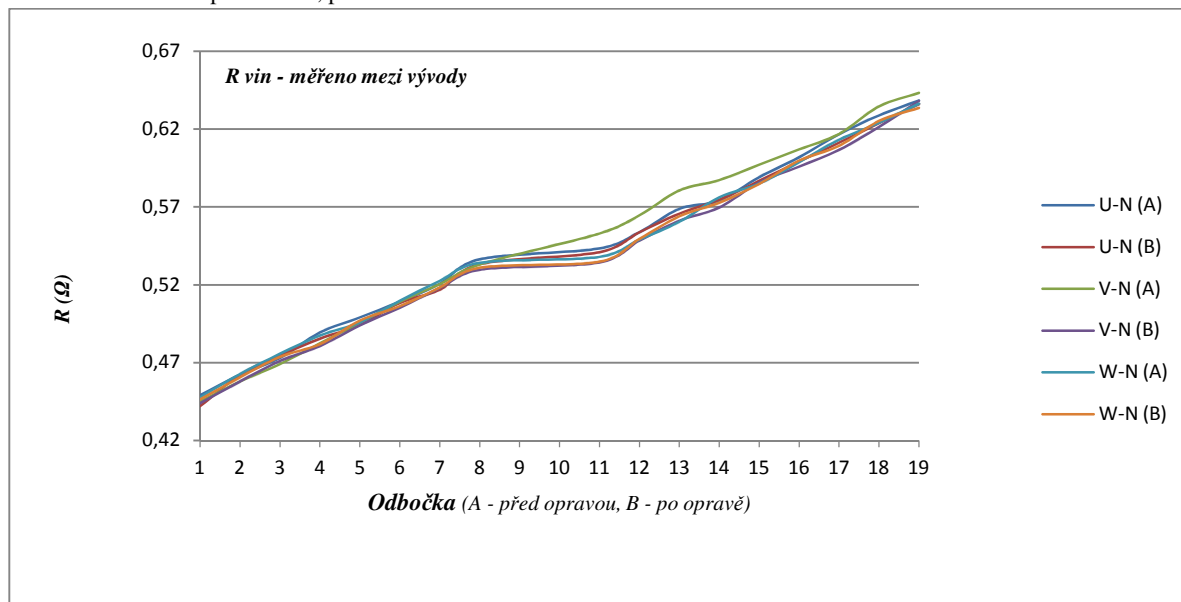
4.1.4 Měření odporu vinutí ss. proudem po revizi a opravě transformátoru

Datum měření: 12.11.2013
Teplota stroje: 22°/11°C, instalovaný teploměr/ ohřev od oleje
Teplota okolí: 13°C, relativní vlhkost okolí: 53%

Tab. 4.4 - Měření odporu vinutí ss. proudem po revizi opravě transformátoru

Odbočka	<i>R vin - (Ω) měřeno mezi vývodu</i>					
	U-N	V-N	W-N	U-V	V-W	U-W
1	0,442057	0,443757	0,446347			
2	0,462212	0,457847	0,460578			
3	0,474697	0,471008	0,473717			
4	0,485447	0,4806	0,481964			
5	0,494307	0,493906	0,49702			
6	0,508416	0,505268	0,506303			
7	0,516855	0,5178	0,518324			
8	0,533282	0,529647	0,531003			
11	0,540958	0,534363	0,534924			
12	0,553717	0,54842	0,549563			
13	0,565677	0,561181	0,564075			
14	0,57467	0,569693	0,572832			
15	586711	0,585842	0,584892			
16	0,599261	0,595955	0,599817			
17	0,611255	0,606736	0,609369			
18	0,623793	0,621532	0,625311			
19	0,636046	0,638248	0,633713			

Graf 4.3 - Měření odporu vinutí, porovnání tabulek 4.3 a 4.4.



Měření odporů vinutí na transformátoru 110 kV ("V") s přepínačem odboček probíhalo pod zatížením. Do grafu je vynesena závislost odporu na zvolené odbočce a je zřejmé, že kontakty přepínače odboček jsou v pořádku a v obvodu se nevyskytuje žádný zvýšený přechodový odpor. Žádná vinutí nejsou přerušena. (Postup měření je popsán v kapitole 1.4.1)

4.1.5 Průchodky – měření izolačního stavu nových průchodek

Datum měření: 4.10.2013
Teplota okolí: 3°C, relativní vlhkost okolí: 61%

Tab. 4.5 – měření C a tgδ průchodek

	Průchodka	C (pF)	tgδ (x10 ⁻²)					
			2 kV	4 kV	6 kV	8 kV	10 kV	12 kV
I U	Průchodka mimo stroj	242,7	1,35	1,22	1,15	1,12	1,07	1,07
I V	Průchodka mimo stroj	228,7	1,4	1,32	1,28	1,23	1,23	1,22
I W	Průchodka mimo stroj	217,3	1,13	0,94	0,92	0,9	0,89	0,89

4.2 Rozbor izolačního oleje v laboratoři

4.2.1 Rozbor izolačního oleje před opravou

Teplota oleje při odběru z transformátoru - 20°/19°C – sucho (horní/dolní vrstva oleje)
Datum odběru vzorku: 9.7.2013
Datum příjmu vzorku: 9.7.2013
Datum měření: 10.7.2013:
teplota okolí v laboratoři: 26°C, relativní vlhkost vzduchu v laboratoři: 48%

Tab. 4.6 - Rozbor izolačního oleje před opravou

Zkouška	Jednotka	Předpis	Hodnota
U_{p1-6}	kV/2,5mm	SOP 2-11/72 (ČSN EN 60156: ZM - 04)	62,4 59,4 53,0 51,6 70,0 64,4
U_p	kV/2,5mm		60,1
s	kV/2,5mm		7
V	%		11,6
Q_v	mg/kg	SOP 2-10/72 (ČSN EN 60814: ZM - 03)	10,1
$\dot{C}K$	mg KOH/g	SOP 2-14/72 (ČSN EN 62021: ZM - 12)	0,01
$tg\delta_{20}$	x 10 ⁻²	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	0,21
$tg\delta_{70}$	x 10 ⁻²		1,796
$tg\delta_{90}$	x 10 ⁻²		3,285
ϵ_{r20}	/	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	2,203
ϵ_{r70}	/		2,198
ϵ_{r90}	/		2,187
ρ_{20}	G _{Ωm}	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	142,1
ρ_{70}	G _{Ωm}		23,4
ρ_{90}	G _{Ωm}		12,3
σ	mN/m	SOP 2-15/72	41
ρ_v	g/ml	SOP 2-15/72 (ČSN EN ISO 3675)	0,872
Q_i	% _{hmot.}	SOP 2-16/72 (ČSN EN 60666: ZM - 15) N	0,29

4.2.2 Rozbor izolačního oleje po opravě

Teplota oleje při odběru z transformátoru - 20°/11°C -- sucho (horní/dolní vrstva oleje)
Datum odběru vzorku: 12.11.2013
Datum příjmu vzorku: 12.11.2013
Datum měření: 13.11.2013:
teplota okolí v laboratoři: 25°C, relativní vlhkost vzduchu v laboratoři: 35%

Tab. 4.7 - Rozbor izolačního oleje po opravě

Zkouška	Jednotka	Předpis	Hodnota
U_{p1-6}	kV/2,5mm	SOP 2-11/72 (ČSN EN 60156: ZM - 04)	79,7 67,8 75,8 80,8 79,0 79,3
U_p	kV/2,5mm		77,1
s	kV/2,5mm		4,8
V	%		6,2
Q_v	mg/kg	SOP 2-10/72 (ČSN EN 60814: ZM - 03)	4
ČK	mg KOH/g	SOP 2-14/72 (ČSN EN 62021: ZM - 12)	0,003
$tg\delta_{20}$	$\times 10^{-2}$	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	0
$tg\delta_{70}$	$\times 10^{-2}$		0
$tg\delta_{90}$	$\times 10^{-2}$		0,038
ϵ_{r20}	/	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	2,202
ϵ_{r70}	/		2,141
ϵ_{r90}	/		2,115
ρ_{20}	$G_{\Omega m}$	SOP 2-12/72 (ČSN EN 62047: ZM - 13)	119783,1
ρ_{70}	$G_{\Omega m}$		25287,5
ρ_{90}	$G_{\Omega m}$		9981,9
σ	mN/m	SOP 2-15/72	60
ρ_v	g/ml	SOP 2-15/72 (ČSN EN ISO 3675)	0,872
Q_i	% _{hmot.}	SOP 2-16/72 (ČSN EN 60666: ZM - 15) N	0,39

Tab. 4.8 - Porovnání naměřených hodnot rozborů izolačního oleje před a po opravě transformátoru

Zkouška	Jednotka	Hodnota											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
U_{p1-6}	kV/2,5mm	62,4	79,7	59,4	67,8	53	75,8	51,6	80,8	70	79	64,4	79,3
U_p	kV/2,5mm	60,1	77,1										
s	kV/2,5mm	7	4,8										
V	%	11,6	6,2										
Q_v	mg/kg	10,1	4										
ČK	mg KOH/g	0,01	0,003										
$tg\delta_{20}$	$\times 10^{-2}$	0,21	0										
$tg\delta_{70}$	$\times 10^{-2}$	1,8	0										
$tg\delta_{90}$	$\times 10^{-2}$	3,29	0,038										
ϵ_{r20}	/	2,2	2,202										
ϵ_{r70}	/	2,2	2,141										
ϵ_{r90}	/	2,19	2,115										
ρ_{20}	$G_{\Omega m}$	142	119783										
ρ_{70}	$G_{\Omega m}$	23,4	25288										
ρ_{90}	$G_{\Omega m}$	12,3	9981,9										
σ	mN/m	41	60										
ρ_v	g/ml	0,87	0,872										
Q_i	% _{hmot.}	0,29	0,39										
Vysvětlivky: 1 - hodnota před opravou, 2 - hodnota po opravě													

Porovnávací tabulka 4.8 rozboru izolačních vlastností oleje ukazuje, že se stav po provedené revizi, filtraci a regeneraci olejové náplně, ve všech prováděných zkouškách výrazně zlepšil. Obsah vody v oleji je malý a nebránil uvedení zařízení do provozu. Obsah inhibitorů se, po regeneraci oleje zvýšil. Všechny parametry kvality oleje vyhovují požadavkům na nový olej. Pro porovnání výsledků uvádím tabulku 4.9 s doporučenými parametry olejů transformátorů. [14]

Tab. 4.9 – Doporučené parametry olejů pro transformátory[15]

<i>Velikost</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Před uvedením do provozu</i>	<i>V provozu</i>	<i>Distribuční transformátory v provozu</i>
<i>Průrazné napětí</i>	kV/2,5mm	min 70	min 65	min 45
<i>Číslo kyselosti</i>	mg KOH/g	max 0,04	max 0,08	max 0,1
<i>Obsah vody</i>	mg/kg	max 12	max 25	max 25
<i>Ztrátový činitel tgδ</i>	%	max 0,5	max 7	max 10
<i>Mezipovrchové napětí</i>	mN/m	min 50	min 38	min 33
<i>Rezistivita</i>	GΩ.m	min 60	min 2	----
<i>Obsah inhibitorů</i>	%	0,3-0,5	min 0,15	----

4.2.3 Plynově-chromatografická analýza plynů rozpuštěných v oleji

Jednou z možností, jak odhalit možné poruchy uvnitř transformátorů, je pomocí analýzy plynů rozpuštěných v oleji (DGA – dissolved gas analysis). Izolační systém olej-celulóza podléhá přirozené degradaci a přirozeným stárnutím materiálů. Stárnutí ale mohou ovlivňovat (zrychlovat) i další faktory. Jako hlavní se dají označit zvýšená teplota, přítomnost vody, výboje. V průběhu degradace izolačního systému se z něho uvolňují plyny na bázi uhlíku, vodíku a kyslíku. Určením množství těchto plynů a jejich analýzou, lze odhalit probíhající děje uvnitř zařízení.

Plyny vznikající v izolačním systému se dají rozdělit do dvou skupin:

- *Plyny poruchové* (nestandardní děj uvnitř zařízení) – vodík CO₂, metan CH₄, acetylen C₂H₂, etylen C₂H₄, etan C₂H₆, oxid uhelnatý CO, oxid uhličitý CO₂
- *Plyny neporuchové* – kyslík O₂, dusík N₂

Každý probíhající nestandardní děj v transformátoru má tedy za následek vznik určitých poruchových plynů a jsou to tzv. klíčové plyny (tabulka 4.10).[15]

Tab. 4.10 Klíčové plyny a jejich význam[15]

<i>Plyn</i>	<i>Vzorec</i>	<i>Spojitost s nestandardním dějem</i>
<i>Vodík</i>	H ₂	Degradace oleje, částečné výboje, jiskření, koróna, přehřátý olej
<i>Metan</i>	CH ₄	Degradace oleje, jiskření, koróna, přehřátý olej
<i>Oxid uhelnatý</i>	CO	Degradace celulózy
<i>Oxid uhličitý</i>	CO ₂	Degradace celulózy, degradace oleje
<i>Kyslík</i>	O ₂	Degradace celulózy, degradace oleje
<i>Acetylen</i>	C ₂ H ₂	Degradace oleje, jiskření
<i>Etylen</i>	C ₂ H ₄	Degradace oleje, hot-spot body (nejteplejší místa) mezi 150 a 1 000 °C, jiskření, koróna
<i>Etan</i>	C ₂ H ₆	Degradace oleje, koróna, přehřátý olej

Stav transformátoru lze také určit z poměru určitých plynů (popisuje norma ČSN EN 60 599).

Jedná se konkrétně o tyto poměry:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \quad \frac{CH_4}{H_2}, \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

Dle tabulky 4.11, lze pomocí těchto plynových poměrů, zařadit plyny rozpuštěné v oleji do kategorií.

Tab. 4.11 Kategorie možných poruch, vycházející z poměru plynů (ČSN EN 60 599)

<i>Diagnóza</i>	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD - částečné výboje	nevýznamné	< 0,1	< 0,2
D1 - výboje nízké energie	> 1	0,1 – 0,5	> 1
D2 - výboje vysoké energie	0,60 - 2,5	0,1 - 1	> 2
T1 - tepelná porucha $T < 300^\circ C$	nevýznamné	> 1, ale nevýznamné	< 1
T2 - tepelná porucha $300^\circ C < T < 700^\circ C$	< 0,1	> 1	1 - 4
T3 - tepelná porucha $T > 700^\circ C$	< 0,2	> 1	> 4

4.2.3.1 Analýza plynů v oleji před opravou

Použita metoda vícenásobné extrakce Toeplerovou vývěvou.

Teplota oleje při odběru z transformátoru - 20°/19°C	sucho (horní/dolní vrstva oleje)
Datum odběru vzorku: 9.7.2013	
Datum příjmu vzorku: 9.7.2013	
Datum měření: 11.7.2013:	
teplota okolí v laboratoři: 27°C, absolutní atmosférický tlak v laboratoři: 995 hPa	

Tab. 4.12 - Analýza plynů v oleji před opravou

<i>Detekovaný plyn</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Obsah</i>
Vodík (H_2)	$\mu l/l$	35,3
Oxid uhelnatý (CO)	$\mu l/l$	204
Metan (CH_4)	$\mu l/l$	7,5
Etan (C_2H_6)	$\mu l/l$	32,4
Etylen (C_2H_4)	$\mu l/l$	87,1
Acetylen (C_2H_2)	$\mu l/l$	3,6
Součet uhlovodíků	$\mu l/l$	130

<i>Detekovaný plyn</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Obsah</i>
Propan (C_3H_8)		
Propen (C_3H_6)	$\mu l/l$	25
Buten (C_4H_8)	$\mu l/l$	/
Dusík (N)	$\mu l/l$	66 800
Kyslík (O)	$\mu l/l$	23 900
Oxid uhličitý (CO_2)	$\mu l/l$	1 730
Q_p	$\%_{obj.}$	9,59

<i>Poměr plynů $\pm N$</i>	<i>Hodnota</i>
Oxid uhličitý/Oxid uhelnatý	8,48
Dusík/Kyslík	2,79

<i>Poměr plynů $\pm N$</i>	<i>Hodnota</i>
Acetylen/Etylen	0,04
Etylen/Etan	2,68
Metan/Vodík	/
Etan/Metan	/

4.2.3.2 Analýza plynů v oleji po opravě

Teplota oleje při odběru z transformátoru - 20°/11°C	sucho (horní/dolní vrstva oleje)
Datum odběru vzorku: 12.11.2013	
Datum příjmu vzorku: 12.11.2013	
Datum měření: 13.11.2013:	
teplota okolí v laboratoři: 25°C, absolutní atmosférický tlak v laboratoři: 1006 hPa	

Tab. 4.13 - Analýza plynů v oleji po opravě

Detekovaný plyn	Jednotka	Obsah
Vodík (H_2)	$\mu l/l$	7,6
Oxid uhelnatý (CO)	$\mu l/l$	5
Metan (CH_4)	$\mu l/l$	1,3
Etan (C_2H_6)	$\mu l/l$	0,3
Etylen (C_2H_4)	$\mu l/l$	1,6
Acetylen (C_2H_2)	$\mu l/l$	1,9
Součet uhlovodíků	$\mu l/l$	5,1

Poměr plynů $\dagger N$	Hodnota
Oxid uhličitý/Oxid uhelnatý	7,4
Dusík/Kyslík	4,13

Poměr plynů $\dagger N$	Hodnota
Acetylen/Etylen	0,04
Etylen/Etan	2,68
Metan/Vodík	/
Etan/Metan	/

Detekovaný plyn	Jednotka	Obsah
Propan (C_3H_8)		
Propen (C_3H_6)	$\mu l/l$	1,2
Buten (C_4H_8)	$\mu l/l$	/
Dusík (N)	$\mu l/l$	4 750
Kyslík (O)	$\mu l/l$	1 150
Oxid uhličitý (CO_2)	$\mu l/l$	37
Q_p	%obj.	0,73

Tab. 4.14 - Analýza plynů v oleji - porovnání výsledků z tabulek 4.12, 13

Detekovaný plyn	Obsah	
	Před opravou	Po opravě
Vodík (H_2)	35,3	7,6
Oxid uhelnatý (CO)	204	5
Metan (CH_4)	7,5	1,3
Etan (C_2H_6)	32,4	0,3
Etylen (C_2H_4)	87,1	1,6
Acetylen (C_2H_2)	3,6	1,9
Součet uhlovodíků	130	5,1

Poměr plynů $\dagger N$	Hodnota	
	Před opravou	Po opravě
Oxid uhličitý/Oxid uhelnatý	8,48	7,4
Dusík/Kyslík	2,79	4,13

Poměr plynů $\dagger N$	Hodnota	
	Před opravou	Po opravě
Acetylen/Etylen	0,04	1,18
Etylen/Etan	2,68	5,33
Metan/Vodík	/	/
Etan/Metan	/	/

Detekovaný plyn	Obsah	
	Před opravou	Po opravě
Propan (C_3H_8) Propen (C_3H_6)	25	1,2
Buten (C_4H_8)	/	/
Dusík (N)	66 800	4 750
Kyslík (O)	23 900	1 150
Oxid uhličitý (CO_2)	1 730	37
Q_p	9,59	0,73

Tab. 4.15 – Porovnávací tabulka - analýzy plynů v oleji

Diagnóza	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$		$\frac{CH_4}{H_2}$		$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	
	Před revizí 0,041	Po revizi 1,18	Před revizí 0,21	Po revizi 0,039	Před revizí 2,68	Po revizi 5,33
PD - částečné výboje	nevýznamné		< 0,1		< 0,2	
D1 - výboje nízké energie	> 1		0,1 – 0,5		> 1	
D2 - výboje vysoké energie	0,60 - 2,5		0,1 - 1		> 2	
T1 - tepelná porucha $T < 300^\circ C$	nevýznamné		> 1, nevýznamné		< 1	
T2 - tepelná porucha $300^\circ C < T < 700^\circ C$	< 0,1		> 1		1 - 4	
T3 - tepelná porucha $T > 700^\circ C$	< 0,2		> 1		> 4	

Z analýzy plynů v transformátorovém oleji se dá odvodit technický stav transformátoru. Za dobrý stav lze považovat, pokud platí, že koncentraci s největší hodnotou má H_2 pak CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 C_2H_2 . Z porovnávací tabulky 4.13 je zřejmé, že se stav oleje transformátoru zlepšil po provedeném vysoušení metodou LF a společně s tím filtrací a regenerací olejové náplně v transformátoru. Lze konstatovat, že transformátor ukazuje na známky tepelné degradace (nadměrné zahřívání) a výskytu nízkonapěťových výbojů. I poměr plynů CO_2/CO , který udává obraz o tepelném zestárnutí izolace ukazuje na to, že transformátor pracoval při zvýšených teplotách. Pokud je < 3 platí, že by mohla být poškozená, pokud je > 11 znamená to, že se v izolaci projevuje zvýšená teplota.

Celkový obsah plynů vyhovoval pro uvedení stroje do provozu. Obsahy rozkladových plynů jsou nízké. Bylo doporučeno po měsíci provozu transformátoru zopakovat analýzu oleje.

Použité měřicí přístroje a zařízení:

Podmínky pro měření

- Digitální teploměr, vlhkoměr a tlakoměr – typ GFTB 100 (výrobce GREISINGER elektronik GmbH r.v.2009)

Měření izolačního odporu

- měřič izolace 250-500-1000-2500-5000 V/DC typ MIT 520/2 - MEGGER Limited r.v. 2008

Měření kapacity a ztrátového činitele

- Automatický VN můstek 12kV/AC typ2818/5283 – výrobce TETTEX Instruments

Měření odporu vinutí ss proudem

- Digitální multimetr – výrobce FLUKE r.v 2008
- Potenciometr (posuvný rezistor) – 5,5 ohm, 6,3 A, výrobce- METRA r.v 2003
- Vybíjecí rezistor(posuvný) – 105ohm, 1,6 A, výrobce- METRA r.v 2003

Odběr izolační kapaliny - podmínky v laboratoři

- Digitální teploměr, vlhkoměr a tlakoměr – typ GFTB 100 (výrobce GREISINGER elektronik GmbH r.v.2009)
- Digitální barometr typ- GDH11A, výrobce GREISINGER

Stanovení hodnoty průrazného napětí kapalných izolantů (U_p)

- Zkoušečka olejů typ- BA 100 výrobce b2 Elektronik GmbH r.v. 2010

Stanovení obsahu vody v izolačním oleji (Q_v)

- KF coulometr 831, typ - KF coulometr 831, výrobce Metrohm r.v. 2012
- Analitické váhy, typ – Helago HM 202, výrobce A(and)D Instruments Ltd

Číslo kyselosti (ČK)

- Analytické váhy, typ – Helago HM 202, výrobce A(and)D Instruments Ltd
- Předvážky typ – MCI, LC 202S výrobce Sartorius
- Titroprocesor 682 typ – 1.682.0010 výrobce Metrohm
- Dosimat682, typ 1.665.0030 výrobce Metrohm

Ztrátový činitel, relativní permitivita, a vnitřní rezistivita

- Můstek pro měření ztrátového činitele a kapacity typ 2831/ZK, výrobce Tettex Instruments
- Teraohmmetr (nastavena intenzita elektrického pole 250 V/mm) typ – 7KA1100 výrobce Siemens

Relativní mezipovrchové napětí olej-voda a stanovení hustoty

- Čítač kapek, typ – MPN3 výrobce Orges r.v.2004
- Hustoměr 800-900 kg/m³ výrobce Polsko r.v. 1989
- Teploměr -10°C – 110°C
- Digitální teploměr a vlhkoměr typ – GFTH výrobce Greisinger

Obsah antioxidačního inhibitoru (Q_i)

- Infračervený spektrometr typ – M 500 výrobce Buck Scientific Inc.

Plyny rozpuštěné v oleji

- Digitální barometr typ – GDH11A výrobce Graisinger
- Piraniho vakuometr typ – VPR1 výrobce Laboratorní přístroje Praha
- Toeplerova pumpa výrobce Ströhlein Instruments
- Plynový chromatograf s TCD a FID detektory typ – CP 3800 výrobce Varian
- Software, Star, typ – Star, výrobce Varian

Z provedených elektrických měření, diagnostiky transformátorového oleje a výměně průchodek po revizy a opravě transformátoru je zřejmé, že došlo k výraznému zlepšení všech jeho diagnostikovaných parametrů.

Po ukončení všech prováděných prací a měření včetně diagnostiky transformátorového oleje, byly vydány protokoly:

Stav izolační soustavy vinutí

Stav izolační soustavy vinutí vyhovuje (parametry: izolační odpor, ztrátový činitel) pro uvedení stroje do provozu. Hodnoty kapacit jsou shodné s měřením před, a po opravě což ukazuje na nezměněnou geometrii stroje.

Další měření izolační soustavy se doporučuje provést po 2 letech provozu.

Na transformátoru bylo provedeno měření odporu vinutí 110 kV ("V") s přepínačem odboček pod zatížením. Před započítím měření bylo provedeno několik přepnutí přes všechny odbočky z toho důvodu, aby došlo k odstranění případné zoxidované vrstvy na povrchu kontaktů voliče odboček i samotného výkonového přepínače. Závislost odporu na zvolené odbočce je vynesena do grafu, ze kterého vyplývá, že kontakty přepínače odboček (včetně voliče) jsou v pořádku a v obvodu se nevyskytuje žádný zvýšený přechodový odpor. Na žádné odbočce není vinutí přerušené. Měření odporů vinutí 36,75 kV ("S") a 6,3 kV ("N") ukazuje, že všechny spoje jsou v pořádku. V obvodech se nevyskytuje žádný zvýšený přechodový odpor. Vinutí nejsou přerušena. V rozsahu provedených měření je stroj schopen bezpečného provozu.

Hodnocení stavu olejové náplně (dle normy ČSN EN 60422 - 2007).

Izolační vlastnosti oleje vyhovují, obsah vody v oleji je nízký a vyhovuje pro uvedení zařízení do provozu. Doporučuje se zopakovat stanovení izolačních vlastností oleje po ustavení rovnovážného stavu obsahu vody v systému olej-celulóza (pevná izolace), tj. přibližně po měsíci provozu stroje. Stanovení umožní určení stupně navlhnutí pevné izolace na bázi celulózy. Kvalitativní parametry vyhovují požadavkům na nový olej. Obsah inhibitoru je dostatečný. Celkový obsah plynů vyhovuje pro uvedení stroje do provozu. Hodnocení plynově-chromatografické analýzy plynů rozpuštěných v oleji (DGA) dle normy ČSN EN 60599 (2000), Změna A1 (2007). Obsahy rozkladových plynů jsou nízké. Analýza slouží jako výchozí pro další sledování stavu zařízení. Po měsíci provozu transformátoru se doporučuje zopakovat analýzu oleje.

Po provedení všech závěrečných zkoušek, bylo povoleno transformátor uvést do provozu bez zátěže na dobu nejméně 12 hodin. Po uplynutí této doby byl povolen další bezpečný provoz transformátoru.

5. Závěr

Po zkušenostech a informacích, které jsem získal během prováděných měření v rámci této Diplomové práce, doporučuji doplnit místní předpisy o kontrolách a údržbě elektrického zařízení takto:

Hlavní transformovny

- Při pravidelné kontrole změření stavu transformátorů a přípojných míst termovizní kamerou - 1x za 24 hodin, stejné měření provést při pravidelných kontrolách odlehlých, přesuvných trafostanic TSN, DT - 1x za týden
- Zápis v knize kontrol o provedeném měření
- Data z termovizního měření uchovávat na připraveném sdíleném disku, s přístupem pro pracovníky oddělení PM elektro
- Provádět pravidelnou kontrolu regulace transformátoru min 1x za dva roky

Velkostroje

- Při pravidelné kontrole změření stavu transformátorů a přípojných míst termovizní kamerou - 1x za 24 hodin
- Zápis v knize kontrol o provedeném měření jako samostatného bodu, provedeném v rámci kontroly elektrického zařízení během směny
- Data z termovizního měření uchovávat na připraveném sdíleném disku, s přístupem pro elektromechanika velkostroje

Severočeské doly a.s. nakoupí pro potřeby LDS na Dolech Nástup Tušimice měsíčně 14 – 16 MWh elektrické energie. Spotřeba se odvíjí od provozních stavů Technologických celků, které jsou zařazeny do těžby skřívky a uhlí, nebo jsou z různých důvodů mimo provoz (plánované preventivní odstávky na kontrolu zařízení, revize, poruchy apod.). K napájení na hladinách napětí 110 – 6 kV je použito více než 500 transformátorů s výkonem 40 – 40000 kV.A.

Údržba transformátorů umístěných v prostoru *hlavních transformoven*, do kterých patří také transformátory jako součásti přesuvných transformačních stanic TSN a DT v těžebním prostoru, vychází především z místních předpisů a norem, při dodržení návodů od výrobců a to jak u provozní, pravidelné kontroly, tak při údržbě zařízení v případě beznapěťového stavu. V obou případech se předpisy upravily dle dlouhodobých zkušeností s údržbou transformátorů. Doporučuji upravit tyto předpisy o využívání termovizní techniky i při běžných denních kontrolách (v případě přesuvných trafostanic týdenních), která umožňuje záznam výsledku kontroly a tím také možnost pozdějšího porovnání všech výsledků kontrol. Takto získaná data jsou důležitou informací pro plánování údržby a revize při odstaveném zařízení. Dále doporučuji využít měření metodou částečných výbojů a doplnit online diagnostiku na hlavních transformátorech velkých transformoven (zatím se nepoužívá)

Kontrola a údržba transformátorů *na velkostrojích* částečně vychází z podmínek jejich umístění na velkostroji. Některé transformátory mají vlastní kompletně uzavřenou kobku v rozvodně, přístupnou pouze zvláštními vnějšími dveřmi, některé jsou součástí rozvodny oddělené pouze zábranami. *První* případ se týká novějších typů velkstrojů, konkrétně pak rypadel typu SchRs (1550, 1320). Tyto stroje jsou vybaveny vlastním řídicím systémem. Sběr informací (z čidel, spínačů atd.) zajišťují periferní (vzdálené) jednotky, které jsou vybaveny vstupně výstupními kartami a modulem, který tyto informace

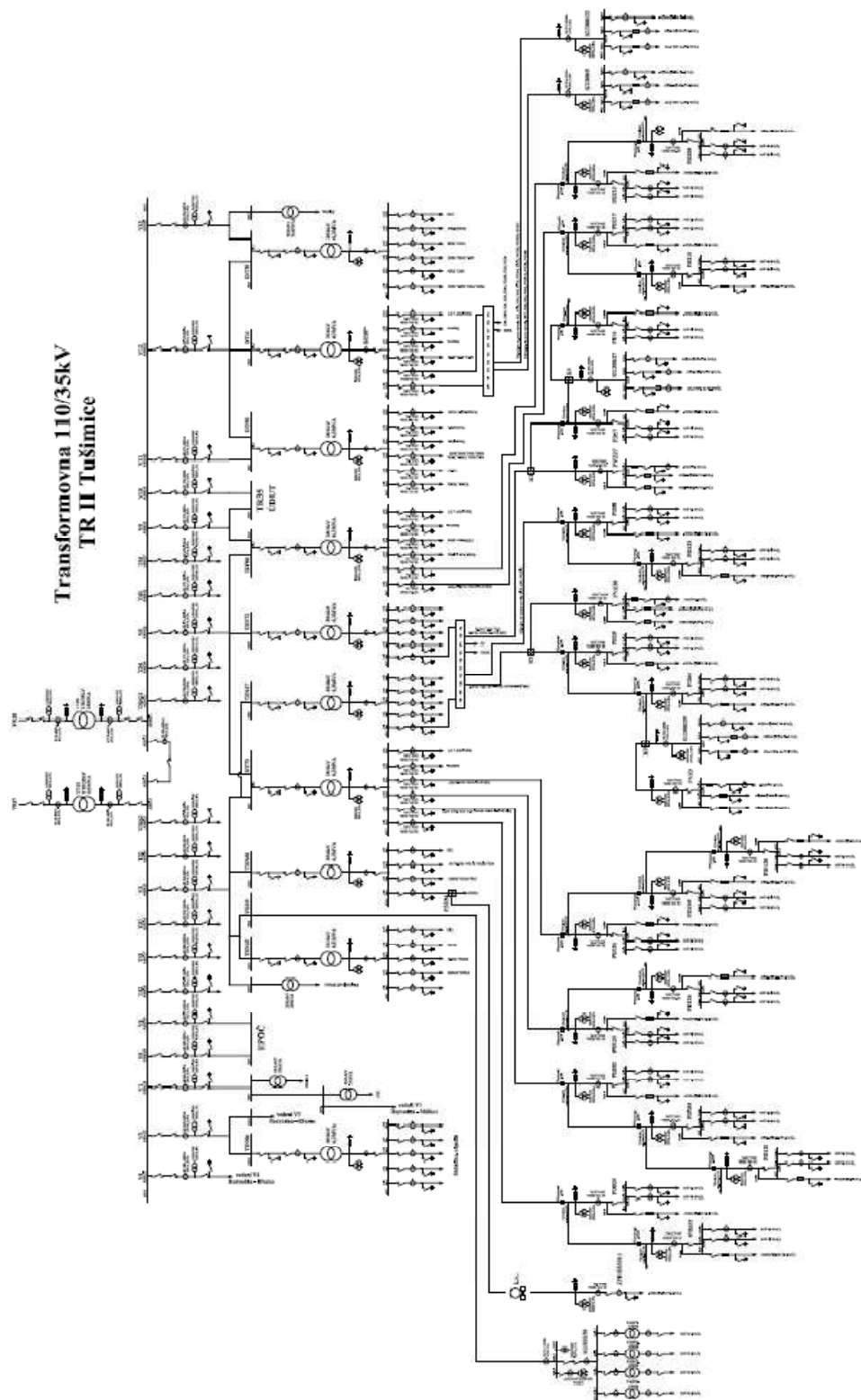
posílá do hlavního procesoru. Na strojích jsou umístěny tři operátorská pracoviště hlavního procesoru a to v kabině řidiče velkostroje, kabině obsluhy nakládacího vozu a dílně údržby (elektrikář velkostroje). V této souvislosti bych doporučil rozšíření a doplnění sběru informací z transformátorů, zejména všech teplot, ať už přímo z transformátoru nebo také z prostoru jeho umístění. *Druhý* případ se týká některých základacích velkostrojů typu ZP, ZPDH a rypadel typu KU. Tyto stroje jsou také částečně vybaveny vlastním řídicím systémem a přenosu informací po stroji a vzhledem k tomu, že se postupně vybavují novými suchými, zalévanými transformátory, doporučuji také sběr všech dostupných informací z transformátorů a prostorů jejich umístění.

V dalších etapách modernizace už používaných systémů přenosů dat (radiová síť Racom, GPRS, optokiosky) v síti DNT, navrhnout systém, který by zajišťoval sběr těchto informací (z velkostrojů, přesuvných stanic, transformoven) z měření, s přístupem pro zodpovědné vedoucí pracovníky OPM a elektromechaniky úseků. Tím by se urychlil a zpřesnil další postup při plánování odstávek, údržby a revizí.

Literatura

- [1] Mentlík, V., Pihera, J., Polanský, R., Prosr, P., Trnka, P.: Diagnostika elektrických zařízení, Praha 2008, BEN, ISBN 978-80-7300-232-9
- [2] Bernat, P., Mišák, S.: Diagnostika asynchronního stroje. In Sborník conference EPE 2011. Ed. Stanislav Rusek, Radomír Goňo, Ostrava, 2011, 179-182, ISBN, 978-80-248-2393-5
- [3] Kreidl, M.: Diagnostické systémy, Praha, ČVUT, ISBN 80-01-02349-4
- [4] Záliš, K.: Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů, Praha 2005, Academia, ISBN 80-200-1358-X
- [5] http://www.elektro.fme.vutbr.cz/studopory/elektrot/lab_05_cv.htm (citováno 12.1.2014)
- [6] <http://web.fel.zcu.cz/ket/other/sbor04.pdf> (citováno 2.1.2014)
- [7] Nebeský, J.: Bakalářská práce, Měření spotřeb elektřiny v lokální distribuční soustavě, VŠB-TU Ostrava 2013
- [8] Jandera, T.: Bakalářská práce, Diagnostika distribučních transformátorů, ZČU Plzeň 2013
- [9] Chmelík, K., Záliš, K., Mišák, S., Kozelský, J.: Technická diagnostika na elektrických zařízeních, ATD ČR
- [10] Místní provozní a pracovní předpisy pro TR na DNT
- [11] Keppert, S., Čermák, T.: Transformátory, skriptum VŠB Ostrava, 1984
- [12] Kocman, K., Holba, J., IHLÁR, A., Mravec. Elektrické stroje a přístroje I: Transformátory. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00406-3
- [13] Chmelík, K., Elektrické stroje v energetice, Skriptum VŠB-TU Ostrava 2001
- [14] <http://www.esb-bez.cz/upload/File/regenerace-transformatorovych-a-turbinovych-oleju.pdf>: ESB Elektrické stroje: Regenerace olejů. 2009 (citováno 22.9.2013)
- [15] <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/18431/disertace%20-%20final.pdf>: Příspěvek k hodnocení plynů rozpuštěných v oleji při diagnostice výkonových olejových transformátorů, Ministr, M., VUT Brno 2012, (citováno 19.4.2014)

Příloha - obrazová část

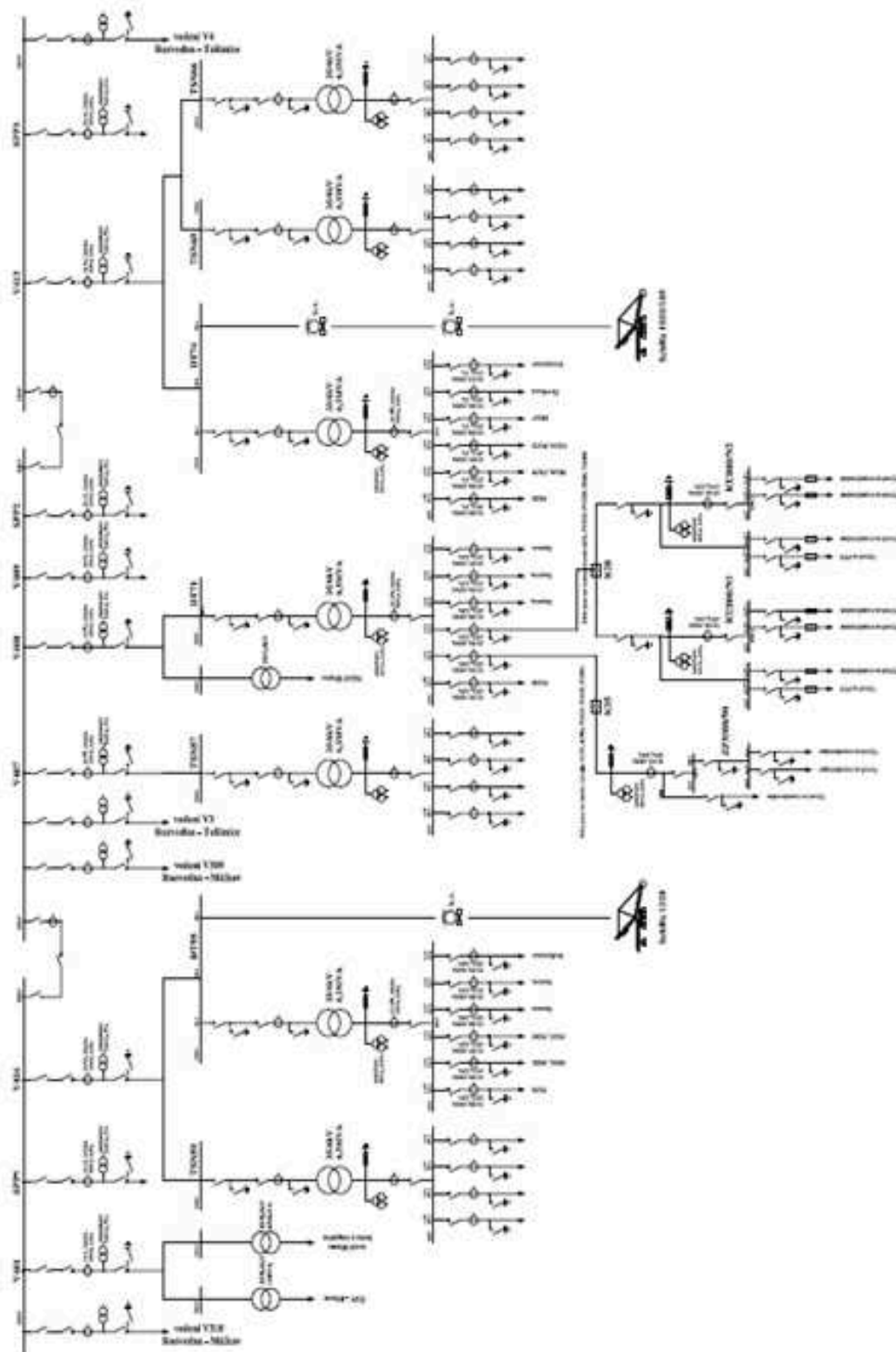


Obr. 1. Schéma LDS na DNT – část č. 1

[illegible]

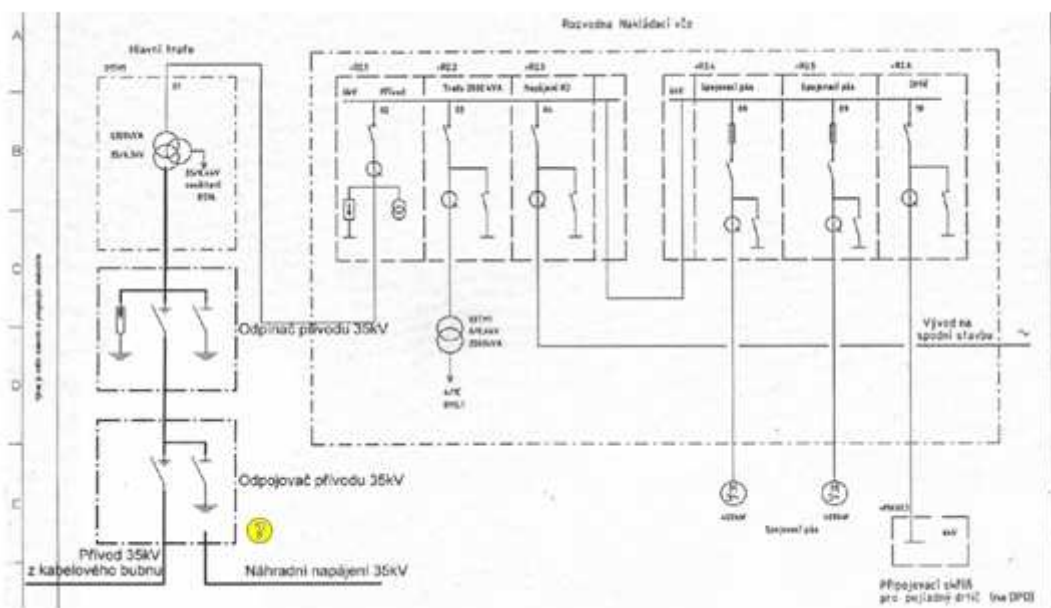
68

TR IV Březno 35kV

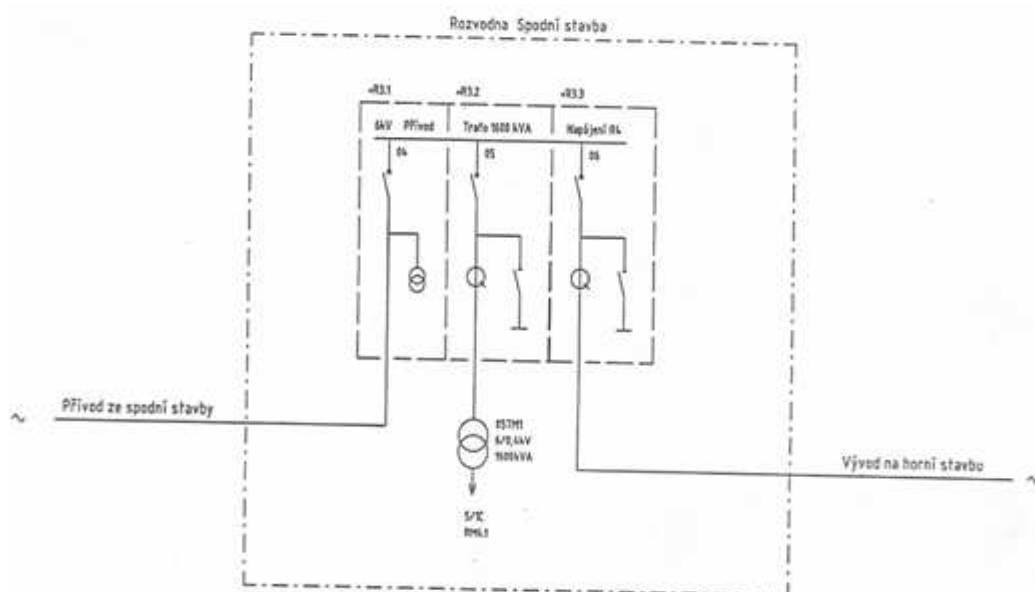


Obr. 5. Schéma LDS na DNT – část č.5

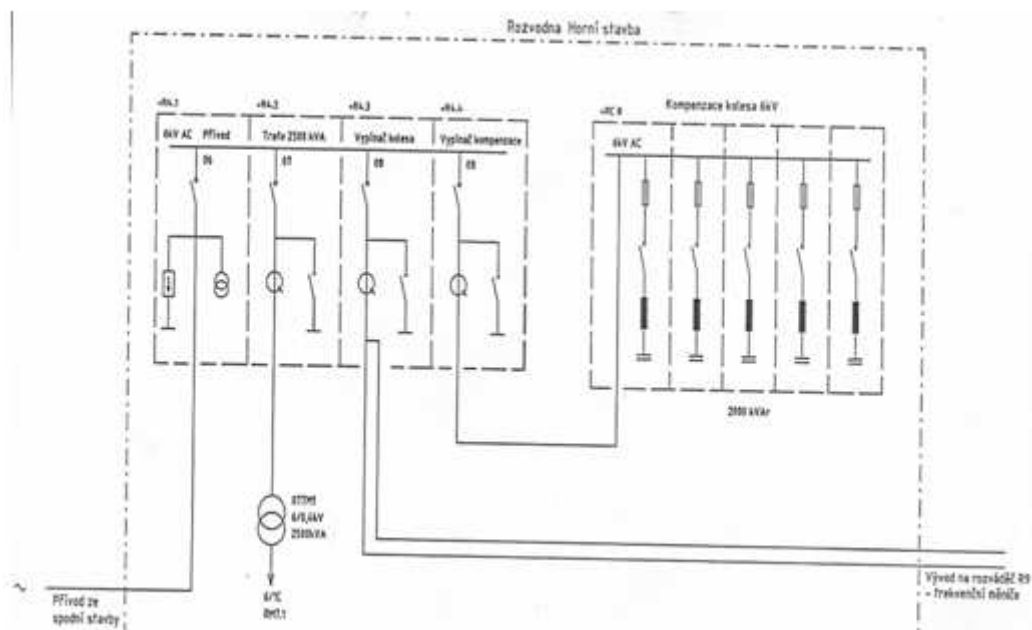
Příklady použití transformátorů na skryvkovém velkstroji typu SchRs 1320/4x30:



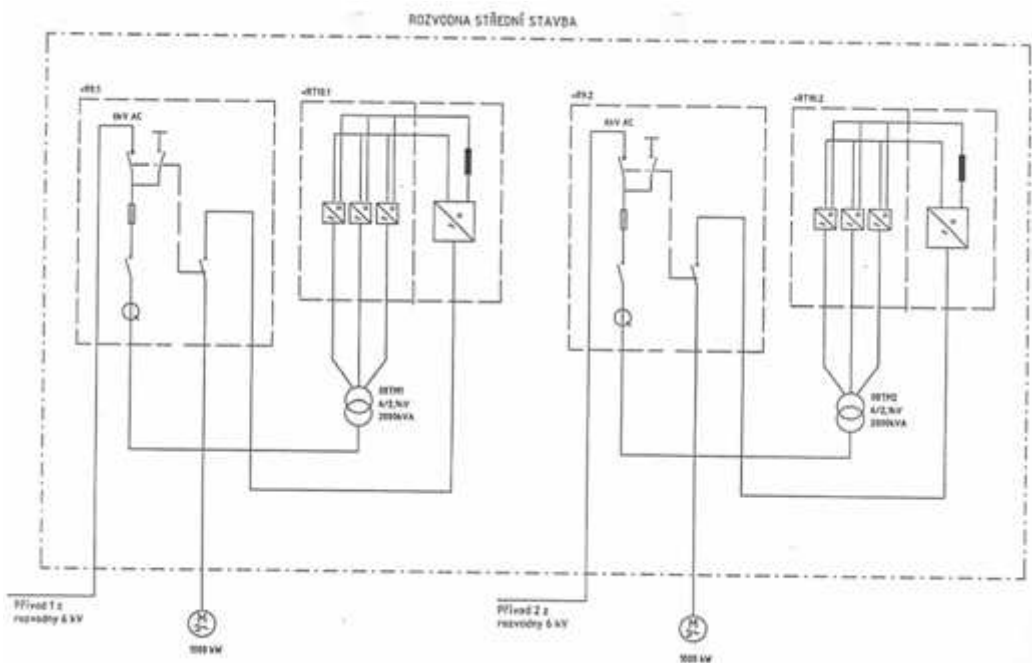
Obr. 6 Schéma zapojení vst. transformátoru 35/6,3/0,4 kV, 6300 kV.A



Obr. 7 Schéma zapojení transformátoru pro napájení spodní stavby 6/0,4 kV, 1600 kVA



Obr. 8 Schéma zapojení transformátoru pro napájení horní stavby 6/0,4 kV, 2500 kVA



Obr. 9 Schéma zapojení transformátorů 6/2,1 kV, 2000 kV.A pro napájení 6 kV FM pro pohon kola 2x 1 MW

Příčiny překročení mezní teploty mohou být:

- přetížení
- okolní teplota vyšší než 40 °C při trvalém jmenovitém zatížení
- nedostačující chlazení transformátoru (zkontrolovat větrání)

V žádném případě se nesmějí vyměnit termistory za jiné s vyšší jmenovitou vybavovací teplotou.

7.3. Přepojení odboček.

Přepojení je možno provést pouze v beznapětovém stavu!

Při změně zapojení propojek na straně vyššího napětí se nesmí změnit spojení do trojúhelníka:

- povolit spojení propojky a tyče spojení do trojúhelníka
- vyšroubovat upevňovací šroub ze zdířky na cívce
- přesunout propojku do zvolené zdířky a šrouby opět utáhnout
- spojení propojky a tyče spojení do trojúhelníku opět utáhnout

Při dotahování a povolování spojení vyvažujte utahovací momenty opačné orientace otevřeným klíčem č. 21 podle náčrtku na konci návodu. Utahovací momenty jsou v tabulce na poslední straně!

(V případě spojení vinutí vyššího napětí do hvězdy se postupuje obdobně.)

8. Údržba

Transformátory zalité v pryskyřici jsou do značné míry bezúdržbové.

8.1. Každých 6 měsíců se zkontroluje funkčnost ventilátoru a jeho řízení.

8.2. Ve stanovených intervalech kontrolovat znečištění transformátoru. Je-li transformátor instalován na stanovišti s neodhadnutelným rizikem znečištění, doporučuje se první kontrola nejpozději do 6 měsíců. Je-li znečištění nízké, lze interval pravidelných kontrol prodloužit, je-li znečištění silné, musí se interval pravidelných kontrol zkrátit a provést opatření ke snížení znečišťování. Při čištění je třeba dbát náležitě pozornosti na chladicí kanály ve vinutích a mezi vinutími. Čištění se provádí vysavačem, suchým stlačeným vzduchem a hadrem.

8.3. Každých 6 měsíců se přezkouší funkce hlídání teploty tak, že se přeruší řetězec termistorů na svorkovnici.

Při eventuálním měření studeného odporu termistorů nesmí překročit měřicí napětí měřicího přístroje hodnotu 2,5 V!